

**PELAAJIEN FYYSISEN KUORMITUKSEN VAIKUTUS  
JOUKKUEEN KÄYTTÄMÄN PINTA-ALAN DIMENSIOIHIN  
JALKAPALLO-OTTELUSSA**

Johannes Hautamäki

Biomekaniikan pro gradu -tutkielma

Liikuntatieteellinen tiedekunta

Jyväskylän yliopisto

Kevät 2022

## TIIVISTELMÄ

Hautamäki, J. 2022. Pelaajien fyysisen kuormituksen vaikutus joukkueen pinta-alan dimensioihin jalkapallo-ottelussa. Liikuntatieteellinen tiedekunta, Jyväskylän yliopisto, biomekaniikan pro gradu -tutkielma, 49 s.

Digitalisaation ja sensoriteknologian kehittyminen ovat johtaneet käytettävissä olevan datan määrän valtavaan kasvuun urheiluanalytiikassa. Tyypillisesti analysoinnissa on keskitytty kilpailulliseen dataan, kuten esimerkiksi jalkapallo-ottelussa syöttöjen, laukausten ja vapaapotkujen määrään, pelaajien aika- ja paikkatietoon, joukkueiden peliryhmyykseen ja esimerkiksi oteluaikatauluihin. Vaikka pelaajien fysiologisia vaatimuksia ja niiden merkitystä joukkueen suoritukseen on tutkittu paljon, hiukan yllättäen taktisen käyttäytymisen ja fysiologisten vaatimusten yhteyttä on sitä vastoin alettu tutkia enemmän vasta hiljattain.

Tässä pro gradu -tutkielmassa selvitettiin, miten pelaajien fyysinen kuormitus vaikuttaa joukkueen käyttämän pinta-alan dimensioiden muutoksiin ottelun aikana. Tutkimus suoritettiin yhteistyössä Polar Electro Oy:n kanssa. Tutkimusaineisto kerättiin kolmessa Suomen korkeimman sarjatason ottelussa kaudella 2020. Otteluissa mitattiin kotijoukkueen pelaajien sykettä, kuljettua kokonaismatkaa, kuljettua matkaa eri nopeusalueilla, kiihdytyksien ja jarrutuksien lukumäärää, kovavauhtisten juoksujen määrää sekä askeltiheyttä. Lisäksi seurattiin kotijoukkueen pelaajien sijaintia kentällä. Dataa kerättiin yhteensä 20 ammattipelaajalta (ikä  $27,3 \pm 4,6$ , pituus  $182,2 \pm 7,3$  cm).

Pelaajien fyysisen kuormituksen arvioimiseksi laskettiin metabolinen teho, josta johdettiin edelleen korkean ja erittäin korkean tehon työmäärät. Joukkueen käyttämän pinta-alan dimensioiden muutosten tarkasteluun valittiin muuttujiksi pelaajien keskimääräinen poikkeama pituus- ja leveysuunnassa joukkueen geometrisestä keskipisteestä. Muuttujia arvoitiin koko ottelun, puoliaikojen, 15 ja viiden minuutin aikaikkunoiden keskiarvoina. Muuttujien välisten korrelaatioiden laskemiseen käytettiin viiden minuutin keskiarvoja.

Ottelussa 1 pelaajien keskimääräisen pituussuuntaisen poikkeaman ja kaikkien fyysisen kuormituksen muuttujien sekä kuljetun matkan välillä oli erittäin voimakas, tilastollisesti erittäin merkitsevä ( $p < 0.001$ ) positiivinen korrelaatio. Otteluissa 2 ja 3 sekä pituus- että leveysuuntaisten poikkeamien ja fyysisen kuormituksen muuttujien välillä havaittiin lineaarisia yhteyksiä, mutta ei yhtä voimakkaita kuin ottelussa 1. Fyysisen kuormituksen muuttujista metabolinen teho korreloi voimakkaimmin ja tilastollisesti merkitsevästi keskimääräisten poikkeamien kanssa otteluissa 1 ja 2.

Tulosten perusteella joukkueen fyysisen kuormituksen kumuloituminen ja siitä mahdollisesti aiheutuva pelaajien väsyminen eivät todennäköisesti kasvata joukkueen käyttämän pinta-alan dimensioita ottelun aikana. Joukkueen metabolinen teho on lineaarisesti yhteydessä joukkueen pituus- ja leveysuuntaisiin poikkeamiin joukkueen geometrisestä keskipisteestä.

Avainsanat: jalkapallo, urheiluanalytiikka, metabolinen teho, spatiotemporaalinen

## ABSTRACT

Hautamäki, J. 2022. Does the physical load imposed on players affect the dimensions of the surface area of a team during a soccer match? Faculty of Sport and Health Sciences, University of Jyväskylä, Master's thesis, 50 pp.

Digitalization and the development of sensor technology have led to a huge growth in the amount of data in sports analytics. Typically, for instance in soccer analytics have been focused on competitive data such as the number of passes, shots and free kicks, spatiotemporal information of the players, team formations and match schedules. Even though players' physical demands and their role on the team performance have been investigated widely, it is slightly surprising that the relationship of physical demands and tactical behavior has only recently started to attract interest from researchers.

The purpose of this study was to investigate how physical load imposed on players affects the dimensions of the surface area of a team during a soccer match. The study was conducted in co-operation with Polar Electro Ltd. The data were gathered in three matches of the season 2020 in the premier division of Finnish football. The observed parameters were players' heart rate, total distance covered, distance at different speed zones, number of accelerations and decelerations, number of sprints and cadence. In addition, the positions of the players of the home team were tracked during the matches. The data were gathered from 20 players (age  $27,3 \pm 4,6$ , height  $182,2 \pm 7,3$  cm) in total.

In order to estimate players' physical load, metabolic power and further high and very high intensity workloads were calculated. To investigate the dimensions of the surface area of a team, players' mean longitudinal and lateral deviations from the centroid of a team were specified. These variables were assessed as a mean of full match, half-time, 15- and 5-minutes time frames of which the latter were used for calculation of intervariable correlations.

In the match 1, the player's mean longitudinal deviation from the centroid of a team correlated strongly and statistically significantly ( $p < 0.001$ ) with all variables of the physical load and the total distance covered. In the match 2, linear relationships were observed between both mean longitudinal and lateral deviations and all variables of the physical load but not as strong as in the match 1. Of the variables of physical load, metabolic power correlated the strongest and statistically the most significantly with mean deviations in match 1 and 2.

The results suggest that the accumulation of physical load and the fatigue it may possibly cause are not likely to cause an increase in the dimensions of the surface area of a team during a match. Metabolic power has a linear relationship with longitudinal and lateral deviations from the centroid of a team.

Key words: soccer, football, sports analytics, metabolic power, spatiotemporal

## KÄYTETYT LYHENTEET

|       |  |
|-------|--|
| 1 RM  | one repetition maximum, yhden toiston maksimi                                      |
| ApEn  | approksimatiivinen entropia  |
| FIFA  | Fédération Internationale de Football Association, Kansainvälinen jalkapalloliitto |
| GPS   | Global Positioning System, maailmanlaajuinen paikallistamisjärjestelmä             |
| HRmax | maximum heart rate, maksimisyke  |
| UEFA  | Union of European Football Associations, Euroopan jalkapalloliitto                 |

# SISÄLLYS

## TIIVISTELMÄ

|   |    |
|---|----|
| 1 JOHDANTO.....   | 1  |
| 2 FYYSISET VAATIMUKSET HUIPPUTASOLLA.....   | 3  |
| 3 HARJOITUSKUORMITUS.....   | 5  |
| 3.1 Harjoituskuormituksen mittaaminen .....   | 6  |
| 4 VÄSYMYS.....  | 8  |
| 4.1 Ottelunaikainen väsymys.....  | 9  |
| 4.2 Motivaation merkitys.....   | 10 |
| 5 TAKTIikka JA SEN ANALYSOINTI .....  | 12 |
| 5.1 Pelijärjestelmä .....   | 12 |
| 5.2 Taktiikan analysointi .....   | 13 |
| 6 DATA-ANALYTIKAN HYÖDYNTÄMINEN JALKAPALLOSSA .....                                 | 18 |
| 7 TUTKIMUKSEN TARKOITUS.....  | 19 |
| 8 TUTKIMUSMENETELMÄT .....  | 20 |
| 8.1 Tutkimusaineisto ja koehenkilöt.....  | 20 |
| 8.2 Mittauslaitteisto .....   | 20 |
| 8.3 Datan käsittely ja laskenta .....   | 21 |
| 8.4 Muuttujat ja tilastolliset menetelmät .....                                     | 22 |
| 9 TULOKSET .....  | 24 |
| 9.1 Joukkueen pinta-alan dimensioiden muutokset.....                                | 24 |
| 9.2 Joukkueen fyysinen kuormitus .....  | 26 |
| 9.3 Joukkueen pinta-alan dimensioiden ja fyysisten muuttujien väliset yhteydet..... | 29 |

|      |                      |    |
|------|----------------------|----|
| 10   | POHDINTA.....        | 33 |
| 10.1 | Virhelähteet .....   | 35 |
| 10.2 | Johtopäätökset ..... | 36 |
|      | LÄHTEET .....        | 37 |

# 1 JOHDANTO

Jalkapallo on yksi maailman vanhimmista ja tunnetuimmista urheilulajeista. Se on useimmilla mittareilla myös maailman suosituin urheilulaji ja sitä pelaavat niin miehet, naiset kuin lapsetkin monilla eri tasoilla. Vuonna 2006 pelaajien lukumäärä oli noin 265 miljoonaa ja lukumäärän odotetaan kasvavan naisten jalkapallon suosion lisääntyessä (FIFA 2007). Jalkapallon suosiota lisää myös valtava yleisömäärä television välityksellä. Vuoden 2014 FIFA World Cup Brasilissa televisioitiin 207 maahan ja kisat tavoittivat 3,2 miljardia ihmistä (Kantar Media 2014). Jalkapallon suosiosta kertoo myös sen valtava taloudellinen merkitys. Esimerkiksi UEFA:n Mestarien liigan ja Eurooppa-liigan pelkkien mediaoikeuksien arvo on yli 2,3 miljardia euroa (UEFA 2020).

Digitalisaatio ja sensoriteknologian kehittyminen ovat johtaneet käytettävissä olevan datan määrän nopeaan kasvuun urheiluanalytiikassa (Link 2018, 1). Erityisesti spatiotemporaalinen eli ajan huomioiva paikkatieto on avannut valtavia mahdollisuuksia suoritusten analysointiin (Link 2018, 1). Datan valtava määrä ei kuitenkaan itsessään hyödytä ketään, vaan haaste onkin kehittää uusia data-analyysimenetelmiä, joiden avulla voidaan oppia lisää urheilusta (Link 2018, 1). Huomioiden jalkapallon valtavan taloudellisen merkityksen ei ole ihme, että datan keräämisestä, analysoinnista ja markkinoinnista on tullut satojen miljoonien eurojen arvoista liiketoimintaa ammattilaisjalkapalloilun ympärillä (Research and Markets, 2016). Käytännössä kaikki seurat maailman huippusarjoissa seuraavat pelaajiensa harjoituskuormitusdataa ja käyttävät data-analyysia niin oman joukkueen kuin vastustajankin otteluiden perkaamiseen (Miller 2015; Sands ym. 2016). Urheiluanalytiikan potentiaalista kertoo myös se, että maailman suurimmat datayhtiöt, kuten IBM, SAP, Intel ja Microsoft kilvoittelevat data-analyysityökaluillaan jalkapallokentillä. Lisäksi lukuisat tieteelliset konferenssit ja julkaisut kertovat osaltaan myös akateemisen maailman kiinnostuksesta urheilun data-analytiikkaa kohtaan (Link 2018, 1).

Data-analyysillä tarkoitetaan menetelmiä, joilla datasta pyritään muodostamaan sellaista informaatiota, josta voidaan tehdä hyödyllisiä johtopäätöksiä (Runkler 2016). Urheiluanalytiikalla tarkoitetaan yksinkertaisesti urheiluun liittyvän datan matemaattista analysointia. Link (2015,

3) määrittelee urheiluanalytiikan urheilusuorituksiin liittyväksi tiedon etsintä-, tulkinta- ja käsittelyprosessiksi tietojärjestelmiä ja matemaattisia menetelmiä hyödyntäen kilpailullisen edun saavuttamiseksi. Yleensä analysoinnissa on keskitytty kilpailulliseen dataan, kuten esimerkiksi jalkapallo-ottelussa syöttöjen, laukausten ja vapaapotkujen määrään, spatiotemporaaliseen paikkatietoon, joukkueiden peliryhmyykseen ja esimerkiksi otteluaikatauluihin, mutta dataan voidaan sisällyttää myös urheilujohtamiseen liittyviä parametreja, kuten yleisömääriä, sopimusdataa ja talouteen liittyviä lukuja (Link 2015, 2).

Pelaajien fysiologisia vaatimuksia ja niiden merkitystä joukkueen suoritukseen on tutkittu paljon (Carling ym. 2008; Mohr ym. 2005). Hiukan yllättäen taktisen käyttäytymisen ja fysiologisten vaatimusten yhteyttä on sitä vastoin alettu tutkia enemmän vasta hiljattain, vaikka taktiikan onnistuminen riippuu loppujen lopuksi yksittäisten pelaajien kyvyistä suorittaa tarvittavat toiminnot kentällä (Rein & Memmert 2016). Tämän pro gradu -tutkielman tarkoituksena on selvittää, miten pelaajien fyysisen kuormituksen vaikutus joukkueen pinta-alan dimensioiden muutoksiin ottelun aikana.



## 2 MIESPELAAJAN FYYSISET VAATIMUKSET HUIPPUTASOLLA

Nykyaikainen huippujalkapallo vaatii pelaajilta erinomaista fyysistä suorituskykyä, teknistä taituruutta sekä monipuolista taktista osaamista. Koska suurimman osan, noin 10 kilometriä, 90-minuutin jalkapallo-ottelusta pelaajat juoksevat intensiteetillä, jolla anaerobinen kynnyks ei ylitä (Stølen ym. 2005), jalkapallo-ottelua voidaan luonnehtia pääasiallisesti aerobiseksi suoritukseksi, johon yhdistyvät jalkapallopelle tunnusomaiset, toistuvat räjähtävät anaerobiset suoritukset.

Otteluanalyysien avulla on havaittu, että kenttäpelaajat juoksevat ottelun aikana noin 10-12 kilometriä (Bradley ym. 2009; Mohr ym. 2003; Stølen ym. 2005) sykkeen ollessa keskimäärin 85 % pelaajan maksimisykkeestä (Alexandre ym. 2012). Noin 40 % kokonaismatkasta juostaan korkeahkolla intensiteetillä (14-19 km/h) ja 1-11 % kovalla intensiteetillä (>19 km/h) (Mohr ym. 2003). On huomattava, että keskikenttäpelaajat juoksevat 5-15 % enemmän muihin pelipaikkoihin verrattuna ja jopa 20-40% enemmän korkeahkolla intensiteetillä hyökkääjiin ja keskuspuolustajiin verrattuna (Bangsbo ym. 1991; Dellal ym. 2010; DiSalvo ym. 2007; Mohr ym. 2003, Rampini ym. 2007). Sitä vastoin hyökkääjät ja laitapuolustajat juoksevat kovalla intensiteetillä 20-40 % enemmän keskikenttäpelaajiin ja keskuspuolustajiin verrattuna (Bangsbo ym. 1991; Dellal ym. 2010; DiSalvo ym. 2007; Mohr ym. 2003, Rampini ym. 2007). Lyhyet korkean intensiteetin sprintit kuluttavat tehokkaasti kreatiini-fosfaattivarastoja, joita syntetisoidaan uudelleen matalaintensiteettisten jaksojen aikana (Bangsbo 1994). Pelaajien keskimääräinen maksimaalinen hapenotto-kyky vaihtelee välillä 50 – 75 ml/(kg · min) (Stølen ym. 2005) ja keskimääräinen hapenkulutus ottelun aikana on noin 70% maksimaalisesta hapenkulutuksesta (Mohr ym. 2004; Bangsbo ym. 2006). Ottelun aikana veren laktaattipitoisuus vaihtelee yleensä välillä 2-10 mmol/l (Bangsbo 1994; Krstrup ym. 2006), joka viittaa melko korkeaan ottelun kokonaisintensiteettiin ja siten energiantuotantoon anaerobisen glykolyysin kautta (Boone ym. 2012).

Juoksemisen lisäksi pelaajat suorittavat ottelun aikana lukuisia suurta voimantuottoa vaativia suorituksia. Suoritukset vaihtuvat noin viiden sekunnin välein ja niitä on keskimäärin 1300 ottelua kohden, joista noin 200 suoritetaan korkealla intensiteetillä (Mohr ym. 2003). Vaikka

jalkapallo-ottelu on pääasiallisesti aerobinen suoritus, usein ottelun kannalta ratkaisevimmat suoritukset ovat luonteeltaan anaerobisia (Boone 2012). Suunnan muutokset, nopeat pyrähdykset, ponnistukset, laukaukset ja esimerkiksi taklaukset vaativat hyvää voimantuottoa (Varley & Aughey, 2013), joten teho- ja voimaominaisuudet ovat jalkapalloilijalle erittäin tärkeitä kestävyden ohella (Stølen ym. 2005). Maksimivoiman lisääminen kasvattaa yleensä yksilön suhteellista voimaa, joka puolestaan lisää tehon tuottoa. Koska yhden toiston maksimin (1RM), kiihdyttämisen ja liikkeen nopeuden välillä on todettu selvä yhteys (Hermassi ym. 2019; Hoff & Almåsbaek 1995), voimatasojen kasvattaminen tarkoituksenmukaisissa lihaksissa tai lihasryhmissä voi parantaa jalkapallolle ominaisten räjähtävien suoritusten, kuten rytmivaihdosten ja täysvauhtisten juoksujen nopeutta (Bangsbo 1994). Lisäksi maksimivoimatasoa kasvattamalla voidaan pienentää vammariskiä merkittävästi (Arnason ym. 2004; Lehnhard ym. 1996). Jotta pelaajat voivat suoriutua teknisesti ja taktisesti huipputasolla koko 90-minuutin ottelun ajan, heiltä vaaditaan erinomaisia kestävyys- ja voimaominaisuuksia (Stølen ym. 2005).

### 3 HARJOITUSKUORMITUS

Ammattijalkapalloilussa harjoittelun tärkeimpiä tavoitteita ovat paitsi suoriutuminen mahdollisimman korkealla tasolla läpi koko kauden, myös vammojen ennaltaehkäisy (Jaspers ym. 2017). Siten huolellisesti suunniteltu progressiivinen harjoittelu on erittäin tärkeää (Jaspers ym. 2017). Yleisesti ajatellaan, että harjoitusärsyksen ja riittävän palautumisen yhdistäminen johtaa fyysisen suorituskyvyn kasvuun (Smith 2016). Sitä vastoin sopimaton harjoitusärsyke tai liian vähäinen palautuminen voivat johtaa suorituskyvyn alenemiseen ja vamma- ja sairastumisriskin lisääntymiseen (Jaspers ym. 2017). Lisäksi harjoituskuormituksen kvantifiointia pidetään ratkaisevan tärkeänä harjoituksen tarkan ohjelmoinnin ja arvioinnin, ja siten myös mahdollisen fyysisen suorituskyvyn kehittymisen kannalta (Foster ym. 2001).

Impellizzerin ym. (2019) määritelmän mukaan harjoituskuormitus on muuttuja, jota manipuloidaan halutun harjoitusvasteen aikaansaamiseksi. Tyypillisesti kuormitus jaetaan ulkoiseen ja sisäiseen harjoituskuormitukseen (Akenhead & Nassis 2016). Ulkoinen kuormitus kuvaa tehtyä työtä, joka yleensä määritellään harjoitusohjelmassa (Impellizzeri ym. 2004; Impellizzeri ym. 2005). Siten, ulkoisen kuormituksen mittarit määräytyvät kulloinkin tehdyn harjoituksen mukaan. Esimerkiksi voimaharjoittelussa ulkoista kuormitusta voidaan kuvata käytetyn vastuksen, tehdyn kokonaisvolyymien tai esimerkiksi suoritusnopeuden avulla (Scott ym. 2016). Vastavasti joukkuelajeissa ulkoista kuormitusta voidaan kuvata kuljetun kokonaismatkan, tietyllä nopeusalueella juostun matkan tai esimerkiksi kiihdytyksien lukumäärän avulla (Osgnach ym. 2010). Ulkoisen kuormituksen, eli tehdyn työn, aikaansaamaa psykofysiologista vastetta kutsutaan sisäiseksi kuormitukseksi (Jaspers ym. 2017). Sydämen syke ja subjektiivinen koettu rasittavuus ovat yleisesti käytettyjä sisäisen kuormituksen mittareita (Wallace ym. 2014). Sisäistä kuormitusta mitattaessa on suositeltavaa käyttää sykereserviä, eli maksimisykkeen ja leposykkeen erotusta, sillä se on sykeindikaattoreista luotettavin ja se mahdollistaa tarkemman pelaajien välisen vertailun (Alexandre ym. 2012)

### 3.1 Harjoituskuormituksen mittaaminen

Koska sisäinen harjoituskuormitus määrittää harjoituksen lopputuloksen, Impellizzeri ym. (2019) kehottavat ensisijaisesti seuraamaan sisäisen kuormituksen muuttujia. Tietyn ulkoisen kuormituksen aikaansaama sisäinen kuormitus voi vaihdella urheilijoiden välillä sekä yksilötasolla lukuisten kontekstuaalisten muuttujien johdosta (Impellizzeri ym. 2019). Esimerkiksi erilaiset muokattavissa olevat muuttujat, kuten harjoituskauden vaihe, ravinto, terveys, psykologinen tila sekä muuttujat, joihin ei voi vaikuttaa, kuten genetiikka, voivat aikaansaada erilaisia sisäisiä vasteita eri urheilijoilla, vaikka ulkoinen harjoituskuormitus olisikin sama (Vellers ym. 2018). Koska lukuisat muuttujat vaihtelevat myös yksilötasolla, sisäinen harjoituskuormitus voi vaihdella, vaikka ulkoinen kuormitus pysyisi ennallaan (Impellizzeri ym. 2019). Sisäistä harjoituskuormitusta on siis hyvin vaikea arvioida ennen harjoitusta erityisesti lajeissa, joissa spontaani toiminta ja sen yksilöllinen tahdittaminen ovat tyypillisiä (Impellizzeri ym. 2019), kuten esimerkiksi jalkapallossa.

Käytännössä sisäisen harjoituskuormituksen mittaaminen ei ole aina mahdollista. Esimerkiksi maksimitehoisten pyrähdysten aikaansaama neuromuskulaarinen vaste on huomattavasti suurempi, kuin pidempien ja hitaampien suoritusten vaste, mutta sitä ei ole mahdollista mitata luotettavasti todellisessa harjoitustilanteessa (Impellizzeri ym. 2019). Sen sijaan helpompia ulkoisen harjoituskuormituksen mittareita, kuten nopeutta tai aikaa, voidaan soveltaa mittaukseen (Impellizzeri ym. 2019), sillä neuromuskulaarisen aktiviteetin tiedetään lisääntyvän juoksunopeuden kasvaessa (Kyröläinen ym. 2005).

Ulkoisista mittareista GPS-data on osoittautunut käyttökelpoiseksi ja luotettavaksi työkaluksi (Nikolaidis ym. 2018). GPS:n avulla voidaan mitata time-motion-muuttujia, kuten matkaa, kovavauhtisten juoksujen lukumäärää tietyillä nopeuksilla (Akenhead & Nassis 2016) sekä esimerkiksi lyhyitä muutaman metrin kiihdytyksiä ja jarrutuksia eri tehoilla (Varley ym. 2017). Jalkapalloilussa GPS-dataa käytetään yleisesti sekä yksittäisten pelaajien että koko joukkueen ulkoisen harjoituskuormituksen mittaamiseen pelien ja harjoitusten aikana (Buchheit & Simpson 2017). Ottelun aikana kuljetun kokonaismatkan on havaittu korreloivan negatiivisesti keskisykkeen prosentuaaliseen muutokseen submaksimaalisissa aerobisissa testeissä (Rago ym. 2019).

Lisäksi maksimaalisella aerobisella nopeusalueella vietetty aika korreloi vahvasti aerobisen suorituskyvyn kanssa (Fitzpatrick ym. 2018). Koska pelaajan fyysiseen suoritukseen vaikuttavat lukuisat ottelun luonteeseen tai tilanteeseen liittyvät tekijät (Lago-Peñas, 2012) sekä pelaajan pelipaikka (Ingebrigtsen ym. 2015), on järkevää seurata kovavauhtisia juoksuja (Sæterbakken ym. 2019) sekä pelaajan kykyä toistaa kiihdytyksiä ja jarrutuksia (Russell ym. 2016) harjoituksissa ja peleissä (Pettersen ym. 2018).

Fyysisen suorituskyvyn optimoinnin lisäksi ulkoisen harjoituskuorman analysointia käytetään apuna vammojen ennaltaehkäisyssä (Colby ym. 2017; Malone ym. 2018). Matala krooninen ulkoinen harjoituskuorma akuutin työmäärän nopeaan ja huomattavaan lisääntymiseen yhdistettynä on osoitettu lisäävän ilman kontaktia syntyvien vammojen riskiä (Bowen ym. 2017; Bowen ym. 2019; Colby ym. 2017; Jaspers 2018; Malone ym. 2018). Siten harjoituskuormituksen suunnitelmallinen lisääminen ja kuormituspiikkien välttäminen ovat suositeltavia harjoituskuormitukseen liittyvän vammoriskin pienentämiseksi (Gabbett 2020; Griffin ym. 2020).

## 4 VÄSYMYS

Vaikka väsymys on yleinen ja arkipäiväinen ilmiö (Hockey 2013), se on hyvin monimutkainen ja monimuotoinen käsite, joka vaikuttaa energisyyteen, tunteisiin, motivaatioon ja käyttäytymiseen (Buckworth ym. 2013). Liikuntatieteissä väsymyksellä tarkoitetaan useimmiten akuuttia alentunutta suorituskykyä, jolloin tietyn suorituksen subjektiivinen rasittavuuden tunne kasvaa ja/tai maksimaalinen voiman- ja tehontuotto on alentunut (Gandevia 2001). Suorituskyvyn heikkenemiseen vaikuttavat hermolihasjärjestelmän mekanismit eroavat suorituksen intensiteetin, keston sekä lihassupistuksen tyyppin mukaan (Millet & Lepers 2004). Motorisen järjestelmän perifeeristen ja keskushermostossa tapahtuvien muutosten aiheuttaman, objektiivisesti mitattavan, suorituskyvyn laskun (performance fatigability) lisäksi väsymykseen voivat vaikuttaa myös psykologiset, tunnetason muuttajat (perceived fatigability) (Enoka & Duchateau, 2016; Hockey 2013).

Mejmanin ja Mulderin (1998) Effort-Recovery-teorian keskeinen oletus on, että väsymyksen lisääntyessä yksilön on ponnisteltava enemmän suoritusta jatkaakseen. Mikäli tarvittavan ponnistelun määrä on kuitenkin suurempi, mitä yksilö haluaa tai pystyy suoritukseen satsaamaan, käyttäytymismallia on muutettava palautumisen helpottamiseksi tai kehon homeostaasin ylläpitämiseksi (Noakes 2012). Sen seurauksena suoritustaso esimerkiksi jalkapallo-ottelussa voi kärsiä (Russell ym. 2011).

Urheilussa väsymyksen ajatellaan aiheutuvan sekä fyysisestä että psyykkisestä rasituksesta. Yleisesti urheilusuoritusta voidaan tarkastella itseään toistavana prosessina, jossa urheilijan on havainnoitava, tehtävä taktisia valintoja ja niiden perusteella suoritettava motorisia toimintoja (Oudejans & Nieuwenhuys, 2009). Väsymys voi vaikuttaa negatiivisesti kaikkiin edellä mainittuihin urheilusuorituksen osatekijöihin (Pijpers ym. 2007). Useissa lajeissa, kuten jalkapallossa, urheilijoiden suuri fyysinen ja henkinen kuormitus voivat aiheuttaa väsymystä (Barte 2018). Kokonaiskuormituksen lisäksi yksilön kyvyllä sietää kuormitusta on suuri merkitys väsymyksen syntyyn (Meijman & Mulder, 1998). Hyvä suorituskyky, positiivinen mieliala, korkea subjektiivinen hyvinvointi ja hyvä unen laatu ovat kaikki yhteydessä vähäisempään

väsymykseen ja/tai parantuneeseen suorituskykyyn (Cockerill ym. 1991; Gallo ym. 2016; Ihsan ym. 2017; Rampinini ym. 2008).

#### 4.1 Ottelunaikainen väsymys

Jalkapallo-ottelun aerobinen, anaerobinen ja henkinen kuormitus ovat huomattavia (Bangsbo ym. 2006). Jalkapalloilijoiden kokemaa subjektiivista väsymystä kilpailullisten otteluiden jälkeen on kuitenkin tutkittu melko vähän. Koko kauden kattavissa tutkimuksissa on todettu, että pelaajien kokema rasitus kilpailullisten otteluiden jälkeen on Borgin CR10 -asteikolla 6,4–7,4 indikoiden hyvin rasittavaa tasoa (Los Arcos ym. 2016; Los Arcos ym. 2014). Edellisten kanssa linjassa ovat myös pelaajien harjoitusottelun jälkeen raportoima ”hyvin rasittava” (7,5 Borgin CR10 -asteikolla) rasiustaso (Rampinini ym. 2011) ja vain yhden puoliajan pelanneiden ”rasittava” (5,0–5,7 Borgin CR10 -asteikolla) rasiustaso (Rampinini ym. 2008). Toisaalta Barte ym. (2017) raportoivat jokseenkin odotusten vastaisesti, että pelaajien kokema väsymys oli ottelun lopussa keskimäärin vain kohtalaista. Tulosten ero voi tuki selittyä erilaisilla tutkimusasetelmilla. Lisäksi hyökkääjien kokema väsymys oli suurempaa puolustajiin verrattuna, joten pelipaikkakohtaisella kuormituksella voi olla merkitystä väsymyksen kumuloitumiseen (Barte ym. 2017). Suorituskyvyn hetkellisten väsymyksen aiheuttamien muutosten sijaan Barte ym. (2017) keskittyivät pelaajien yleisen suorituskyvyn yksilöllisten, mutta melko vakaiden, erojen vaikutukseen väsymyksen kumuloitumisessa. Heidän mukaansa pelaajien yleinen suorituskyky, ts. fyysinen ja psykologinen suorituskyky sekä palautumistaso, vaikuttaa pelaajien kokemaan väsymykseen ja myös palautumiseen ottelun aikana (Barte ym. 2017).

Pelaajat kokevat väsymystä pelin loppupuolella, mutta myös tilapäisemmin ottelun aikana (Mohr ym. 2005). Ensimmäisen puoliajan jälkeinen 15 minuutin tauko ei vaikuta juurikaan vähentävän pelaajien kokemaa väsymystä (Barte ym. 2017). Videoanalyysien avulla on todettu sekä pelaajien kulkeman kokonaismatkan että korkeaintensiteettisten suoritusten määrän vähenvän ottelun vaativimman viiden minuutin jakson jälkeen (Mohr ym. 2003). Näin käy myös ottelun toisella puoliajalla, jolloin pelaajien kulkema matka vähenee 5-10% ensimmäiseen puoliaikaan verrattuna, erityisesti ottelun viimeisen 15 minuutin aikana (Bangsbo ym. 1991; Mohr ym. 2003; Rampinini ym. 2009). Vastaavasti toisella puoliajalla myös pelaajien keskimääräinen

syke laskee (Bangsbo 1994; Edwards & Clark 2006; Mohr ym. 2004). Helgerud ym. (2001) havaitsivat, että pelaajien viettämä aika sykealueella 85-90 % maksimisykkeestä (HRmax) laski, kun taas vietetty aika sykealueella 75-80 % HRmax kasvoi. Välittömästi ottelun jälkeen mitattuna pelaajien maksimaalinen voimantuotto, ponnistusvoima ja juoksunopeus ovat alentuneet ennen ottelua mitattuihin tuloksiin verrattuna (Andersson ym. 2008; Ascensão ym. 2008; Ispirlidis ym. 2008; Krstrup ym. 2006; Thorlund ym. 2009). Toisaalta Barte ym. (2020) osoittivat, että pelaajat pystyvät tarvittaessa väsyneenäkin suoriutumaan muutamista maksimaalisista pyrähdyksistä yhtä nopeasti, kuin ennen väsymystä, mikäli motivaatio on riittävän suuri. Edellä mainittujen ominaisuuksien palautuminen peliä edeltävälle tasolle miespuolisilla pelaajilla voi kestää yli kolme vuorokautta (Ascensão ym. 2008; Ispirlidis ym. 2008). Tosin, huippupelaajien palautumisaikoja käsittelevät tutkimukset ovat melko harvassa. Ottelun aiheuttama väsymys voi myös heikentää pelaajien suoriutumista teknistä taitoa vaativista suorituksista (Rampini ym. 2008; Rampinini ym. 2009).

#### **4.2 Motivaation merkitys**

Fyysinen suorituskky ja motivaatio ovat tärkeitä pelaajien päätöksentekoon vaikuttavia tekijöitä jalkapallo-ottelussa, kun pelaaja arvioi eteen tulevien suoritusten hyödyllisyyttä ja niiden vaatimaa ponnistelua (Marcora & Staiano 2010; Noakes 2012). Hiljattain on esitetty, että suorituskvyn heikkeneminen raskaan suorituksen aikana voi johtua merkittävässä määrin motivaation heikkenemisestä, henkisestä luovuttamisesta, fysiologisten motorisessa järjestelmässä tapahtuvien muutosten sijaan (Marcora & Staiano 2010). Marcora ja Staiano (2010) osoittivat, että välittömästi henkisen luovuttamisen ilmetessä urheilijat pystyivät vielä reilusti suurempaan maksimitehon tuottoon, kuin mitä varsinaisen suorituksen jatkaminen olisi vaatinut. Barte ym. (2020) mukaan 90-minuutin ottelun aiheuttama väsymys vähentää pelaajien motivaatiota ryhtyä kuormittaviin suorituksiin, mutta ei kuitenkaan näytä vaikuttavan merkittävästi heidän varsinaisiin päätöksiinsä suorituksiin ryhtymisessä. Toisessa tutkimuksessaan he osoittivat, että pelaajien motivaatio ja suoritustaso laskivat väsyneenä, mutta sitä vastoin toisen ryhmän suoritustaso jopa parani väsyneenä, kun ryhmän motivaatiota erityisesti nostettiin tutkijoiden toimesta (Barte ym. 2019). Samalla tavalla, kuin korkea motivaatio voi selittää, miksi urheilijat pystyvät jatkamaan suoritustaan tietyllä kuormitustasolla pidempään, voi olla, että jalkapallon



pelaajat pystyvät laukomaan ja syöttämään tarkasti tai suorittamaan räjähtäviä pyrähdyksiä väsymyksestä huolimatta (Barte ym. 2019).

## 5 TAKTIikka JA SEN ANALYSOINTI

Cambridge Dictionaryn mukaan taktiikka tarkoittaa tiettyä toimintaa, jonka tavoitteena on saavuttaa tietty lopputulema. Kilpailullisessa jalkapallossa tavoite on luonnollisesti, ainakin useimmiten, voittaa ottelu. Siksi sopivan taktiikan valinta on äärimmäisen tärkeää jokaiseen otteluun valmistauduttaessa (Kannekens ym. 2011; Sampaio & Maçãs 2012). Käytännön näkökulmasta taktiikka tarkoittaa sitä, miten joukkue hallinnoi tilaa, aikaa ja yksittäisiä suorituksia (Garganta 2009). Edellistä määritelmää voidaan jatkaa edelleen yksilön, osajoukkueen, joukkueen ja ottelun taktiikkaan (Carling ym. 2005, 129-147). Taktiikka määrittelee siis kentällä olevien pelaajien mikro- ja makrotason järjestäytymistä ja yksilön sekä ryhmän päätöksentekoprosesseja (Rein & Memmert 2016).

Varmistaakseen taktiikan onnistuneen toteutuksen kaikilla sen tasoilla valmentajan on otettava huomioon paitsi oman sekä vastustajajoukkueen sen hetkinen tilanne, mutta myös ulkoiset tekijät, kuten esimerkiksi säätila tai pelataanko koti- vai vieraskentällä (Lago 2009; Mackenzie & Cushion 2013; Sarmiento ym. 2014). Joukkueiden yrittäessä päihittää toisiaan taktiikat eivät voi olla kiveen hakattuja, vaan niiden on mukauduttava joukkueiden välisen ja joukkueen sisäisen interaktion seurauksena (Garganta 2009; Gréhaigne & Godbout 2014). Esimerkiksi pelaajavaihto ottelun aikana voi muuttaa joukkueen taktiikkaa, jolloin toisen joukkueen on vastattava ja mukautettava omaa taktiikkaansa. Siten joukkueiden taktiikoita ohjaa toisistaan riippuvien muuttujien verkostosta rakentuva monimutkainen prosessi (Kempe ym. 2014)

### 5.1 Pelijärjestelmä

Jalkapallossa peliryhmitys tai pelijärjestelmä kertoo kuinka joukkueen pelaajat pääpiirteittäin sijoittuvat kentällä. Pelijärjestelmä ei määritä pelaajan roolia tiukasti, vaan järjestelmässä on tilaa yksilölliselle liikkumiselle. Pelijärjestelmiä kuvataan yleensä numerosarjoilla, kuten 4-4-2, jossa ensimmäinen numero kertoo puolustajien määrän, toinen keskikenttäpelaajien ja kolmas hyökkääjien lukumäärän. Tyypillisiä ryhmityksiä ovat edellisen lisäksi 4-2-3-1, 4-1-4-1, 4-3-3 ja viime vuosina suosittu 3-5-2 (Memmert ym. 2019).

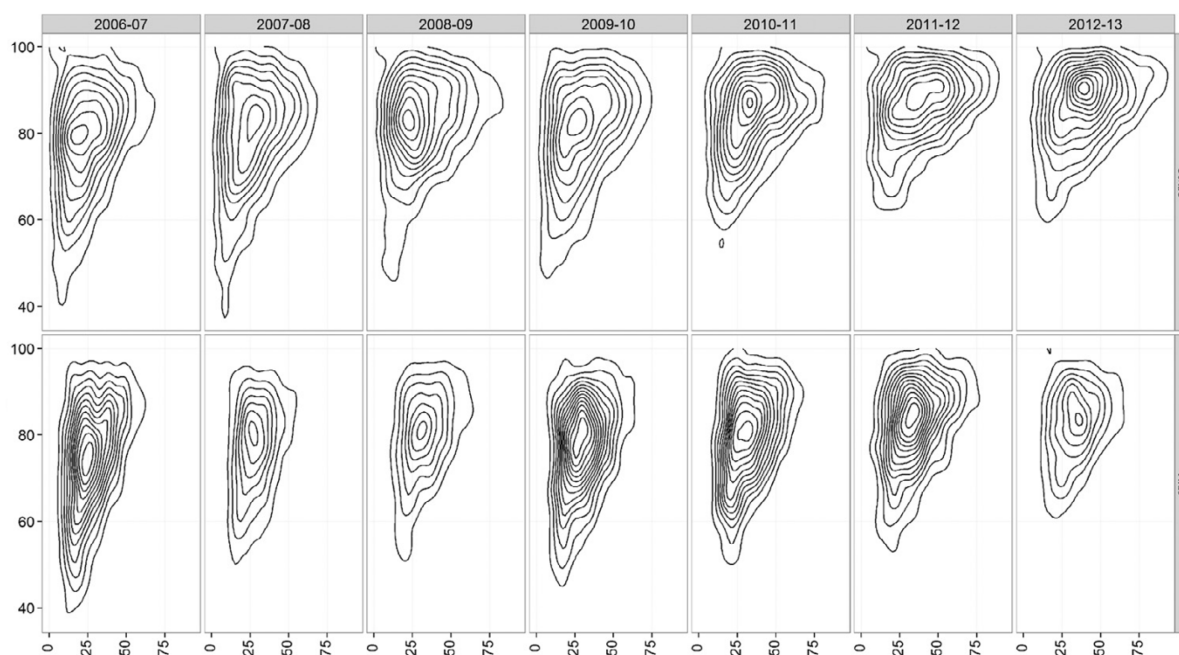
## 5.2 Taktiikan analysointi

Pelaajien fysiologisia vaatimuksia ja niiden merkitystä joukkueen suoritukseen on tutkittu paljon (Carling ym. 2008; Mohr ym. 2005). Hiukan yllättäen taktisen käyttäytymisen ja fysiologisten vaatimusten yhteyttä on sitä vastoin alettu tutkia enemmän vasta hiljattain, vaikka taktiikan onnistuminen riippuu loppujen lopuksi yksittäisten pelaajien kyvyistä suorittaa tarvittavat toiminnot kentällä (Rein & Memmert 2016). Pelaajien suorituskyvyn on siis oltava riittävällä tasolla tietyn taktiikan, esimerkiksi pallonhallintapelin, toteuttamiseksi (da Mota ym. 2016). Rampinin ym. (2007) mukaan vastustajan taso ja pelaajien pelipaikka vaikuttavat merkittävästi pelaajien ottelun aikana juoksemaan matkaan eri juoksunopeuksilla. Bush ym. (2015) tutkivat fysiologisia muuttujia Englannin Valioliigassa useiden kausien ajalta ja havaitsivat, että syötöjen määrän merkittävä kasvu (kuva 1) oli yhteydessä joukkueiden taktiikoiden muutoksiin. Carling ym. (2011) havaitsivat pelaajien juoksumäärien kasvavan, mikäli vastustaja pelasi 4-2-3-1-pelijärjestelmällä 4-4-2-järjestelmän sijaan. Vaikka taktiset ja fysiologiset muuttujat ovat siis yhteydessä toisiinsa (Rein & Memmert 2016), se, miten fysiologista harjoitus- ja otteludataa kannattaisi hyödyntää joukkueen taktiikan luomisessa on edelleen epäselvää (Castellano ym. 2014).

Perinteisesti taktiikka-analyysi on perustunut systemaattiseen havainnointiin tilastomerkintöjen avulla (Hughes & Bartlett 2002). Menetelmän merkittävin ongelma on, että lähes kaikki kontekstuaalinen informaatio hukataan, jolloin analyysin soveltaminen käytännön tasolla on osoittautunut haastavaksi (Glazier 2015; Hughes & Bartlett 2002). Kontekstuaalisen informaation säilyttämiseksi on kehitelty menetelmiä, joissa mm. muuttujien määrää lisäämällä voidaan tunnistaa erilaisia pelityylejä ja -taktiikoita tai esimerkiksi laskea todennäköisyyksiä maalipaikkojen syntymiselle tietyillä taktisilla valinnoilla (Fernandez-Navarro ym. 2016; Kempe ym. 2014; Tenga ym. 2010).

Joukkueen geometrisen painopisteen seuraaminen joukkueen taktiikan analysoinnissa on kasvattanut suosiotaan (Folgado ym. 2014; Frecken ym. 2011; Frencken ym. 2012). Joukkueiden painopisteiden (kuva 2) seuraaminen ottelun aikana auttaa ymmärtämään hyökkäyksen ja puolustuksen rytmikästä vaihtelua (Frencken ym. 2011; McGarry ym. 2002) ja sen avulla voidaan

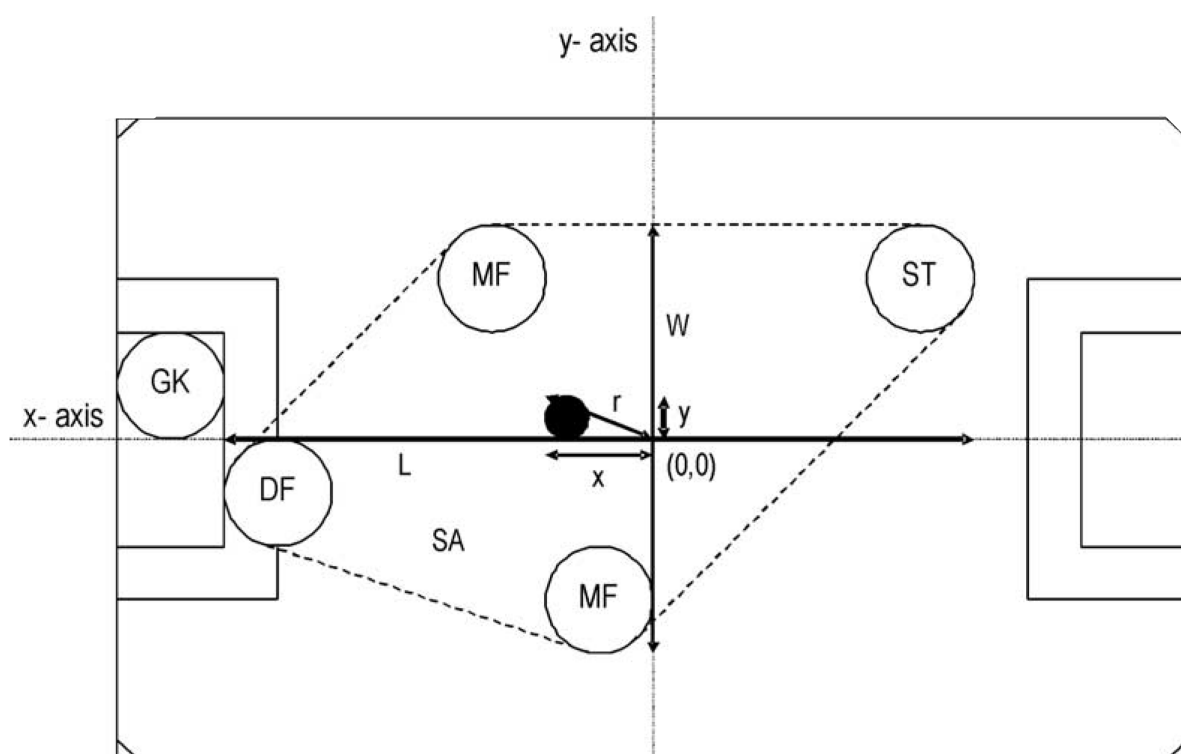
hahmottaa joukkueiden sijoittumista toisiinsa nähden (Frencken ym. 2012). Frenckenin ym. (2012) mukaan joukkueiden painopisteiden välisen etäisyyden suuri vaihtelu indikoi ottelun tärkeimpiä tapahtumia, kuten esimerkiksi maalintekoa. Lisäksi he havaitsivat, että joukkueiden painopisteiden välisen etäisyyden vaihtelevuus lähes kaksinkertaistui toisella puoliajalla indikoiden mahdollisesti pelaajien kumuloituvaa väsymystä (Frencken ym. 2012).



KUVA 1. Kaksiulotteisen tiheyskaavion vaaka-akselilla on syöttöjen lukumäärä ja pystyakselilla syöttöjen onnistumisprosentti. Yläriivi esittää keskikentän ja puolustuksen keskellä pelaavien pelaajien syöttöjä ja alarivi keskikentän ja puolustuksen laidoilla pelaavien pelaajien syöttöjä. Kuvista voidaan nähdä, että keskellä pelaavien syöttöjen määrä kasvoi seitsemän kauden aikana, mutta laidoilla syöttöjen määrä pysyi kutakuinkin ennallaan. Molempien ryhmien syöttöjen onnistumisprosentti kasvoi (Bush ym. 2015).

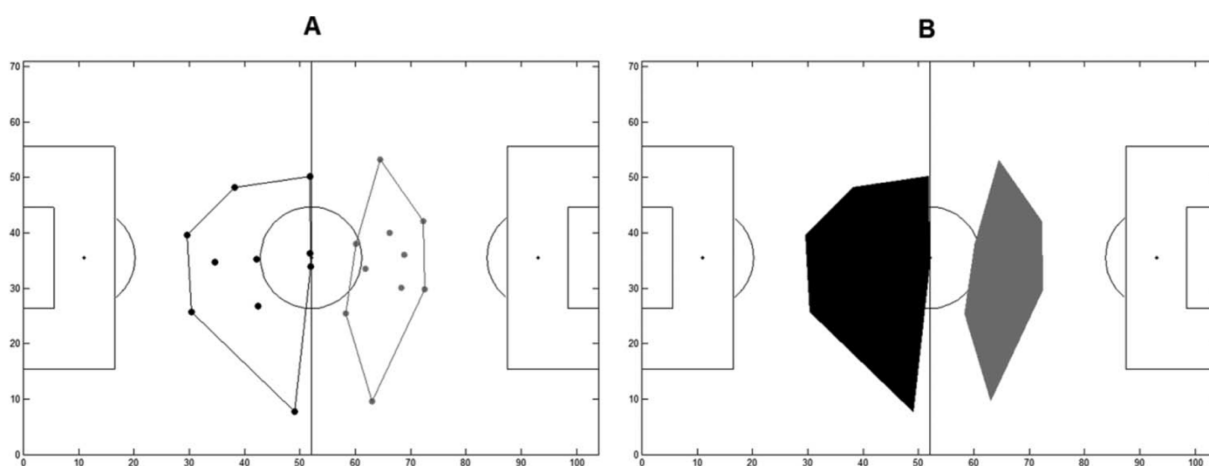
Geometrisen painopisteen käyttäytymisen analyysiä voidaan jatkaa edelleen laskemalla approksimatiivinen entropia (ApEn) (Pincus & Goldberger 1994), jonka avulla voidaan määrittää aikasarjan kompleksisuutta (Aguiar ym. 2015; Sampaio & Maçãs 2012). ApEn-analyysin avulla on mm. havaittu, että taktisen harjoittelun jälkeen nuorten pelaajien joukkueen painopiste käyttäytyi säännömukaisemmin (Duarte ym. 2012; Sampaio & Maçãs 2012). Hyökkääjien,

puolustajien ja keskikenttäpelaajien ryhmien liikkumista analysoidessaan Goncalves ym. (2014) totesivat, että pelaajien liikkeet oman ryhmän, esim. puolustajien, geometrisen painopisteen suhteen olivat säännöllisempiä kuin suhteessa toisten ryhmien painopisteisiin. Myöhemmin Goncalves ym. (2016) tutkivat ammattilais- ja amatööripelaajien käyttäytymistä erilaisissa alivoimatilanteissa. ApEn-analyysi osoitti, että vastustajien lukumäärän kasvaessa ammattilaisjoukkueen pelaajien käyttäytyminen muuttui yhdenmukaisemmaksi vastustajaan verrattuna (Goncalves ym. 2016). ApEn-analyysin yleistymisestä huolimatta sen käytännön merkitys on vielä epäselvä, sillä joukkueen geometrisen painopisteen säännönmukainen käyttäytyminen on jokseenkin abstrakti kuvaus joukkueen käyttäytymisestä (Rein & Memmert 2016). Geometrisen painopisteen analysointia käytetään kuitenkin yhä yleisemmin joukkueen liikkumisen analysoimiseen ja viime vuosina sen tiimoilta on esitelty useita mielenkiintoisia sovelluksia (Rein & Memmert 2016).



KUVA 2. Neljän pelaajan (DF=puolustaja, MF=keskikenttäpelaaja, ST=hyökkääjä) joukkueen geometrisen painopisteen (musta piste) sekä pinta-ala (SA), pituus (L) ja leveys (W) (Frencken ym. 2011).

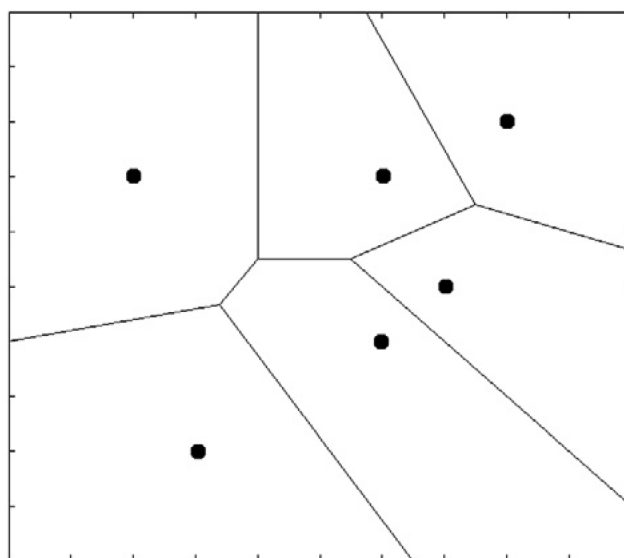
Tilojen hallintaan keskittyvät taktiikka-analyysimenetelmät ovat viime aikoina olleet tutkijoiden mielenkiinnon kohteina (Rein & Memmert 2016). Eräs tällaisista menetelmistä käyttää joukkueen pinta-alaa, matemaattisesti määriteltynä konveksin joukon pinta-alaa, jonka sisään kaikki joukkueen pelaajat mahtuvat (kuva 3) (Frencken ym. 2011; Moura ym. 2012; Moura ym. 2013). Konvekssi joukko tarkoittaa sitä, että joukon jokaisen alkion, tässä tapauksessa pelaajan, välinen jana sisältyy myös samaan joukkoon. Menetelmällä tehtyjen tutkimuksien mukaan hyökkäävän joukkueen pinta-ala on suurempi kuin puolustavan joukkueen (Frencken ym. 2011; Moura ym. 2012). Lisäksi kokeneemmat pelaajat kattavat suuremman pinta-alan kokemattomampiin verrattuna (Duarte 2012a; Olthof ym. 2015). Samankaltaisia tuloksia on saatu myös toisella lähestymistavalla, jossa tilan hallintaa analysoidaan Voronoi-diagrammin (kuva 4) avulla (Fonseca ym. 2012; Gudmundsson & Wolle; Nakanishi ym. 2008). Voronoi-diagrammissa hallittava tila määräytyy pelaajan sen hetkisen sijainnin ja pelaajien välisten etäisyyksien perusteella (Rein & Memmert 2016). Edelleen Silva ym. (2014) ovat tutkineet menetelmää, jossa pyritään tunnistamaan kentällä alueellisesti syntyviä ylivoimatilanteita. Tilan hallitseminen on siis ilmeisen keskeinen tekijä jalkapallon taktiikassa ja siten myös sen analysoinnissa (Duarte ym. 2013; Tenga ym. 2010).



KUVA 3. Esimerkki joukkueiden konvekseista joukoista (A) ja niiden pinta-aloista (B) (Moura ym. 2013).

Joukkueen kuvaaminen verkostona, eräänlaisena luonnollisena organismina, on herättänyt viime vuosina kasvavaa kiinnostusta (Duarte ym. 2012b; Ribeiro ym. 2017). Menetelmä korostaa pelaajien välisiä joukkueen sisäisiä sekä joukkueiden keskinäisiä vuorovaikutuksia ja sen

avulla voidaan tutkia esimerkiksi syöttöjen muodostamaa verkostoa. Tällöin pelaajat ajatellaan verkoston solmukohtina, joita yhdistävät pelaajien väliset syötöt (Ribeiro ym. 2017). Solmu-kohtien väliset yhteydet saavat painokertoimia pelaajien välisten syöttöjen lukumäärän mukaan (Duarte ym. 2012b; Passos ym. 2011). Siten painokertomien avulla voidaan tunnistaa joukkueen, tai ainakin syöttöverkoston avainpelaajat (Passos ym. 2011). Cintia ym. (2015) analysoivat tutkimuksessaan lähes 1500 neljän eurooppalaisen pääsarjan ottelua. He onnistuivat tunnistamaan viisi syöttöihin perustuvaa ja ottelun voittamiseen korreloivaa indikaattoria, joiden perusteella he simuloivat kaikki kauden ottelut uudestaan. Simuloidut sarjataulukot olivat hämmästyttävän lähellä oikeita erityisesti parhaiden joukkueiden sijoitusten osalta (Cintia ym. 2015). Vastaavasti Wang ym. (2015) analysoivat 241 Espanjan pääsarjan ottelua kaudelta 2013-2014 ja onnistuivat tunnistamaan syöttöverkoston ja -sijainnin sekä onnistuneiden hyökkäysten perusteella tehokkaimmat taktiikkamallit. Taktiikan analysoiminen erilaisia verkostomalleja, kuten painotettua syöttöverkostoa ja pelaajien paikkatietoa hyödyntäen on siis avannut mielenkiintoisia uusia mahdollisuuksia menestyksekkään taktiikan tunnistamiseen (Rein & Memmert 2016).



KUVA 4. Esimerkki Voronoi-diagrammista. Mustat pisteet ovat joukkueen pelaajia, joiden ympärillä oleva pinta-ala kuvaa kunkin pelaajan hallitsemää tilaa (Fonseca ym. 2012).

## 6 DATA-ANALYTIIKAN HYÖDYNTÄMINEN JALKAPALLOSSA

Data-analytiikan hyödyntämisen tavoitteet vaihtelevat käyttäjäryhmien mukaan. Valmennusryhmät käyttävät otteludataa taktiseen analyysiin. Oman joukkueen suoritusta analysoimalla pyritään tunnistamaan heikkouksia, joita voidaan kehittää harjoituksissa. Vastustajan otteluita analysoidaan tuleviin kohtaamisiin valmistauduttaessa ja pelisuunnitelmia luotaessa. Erilaisilla mittareilla voidaan löytää kvantitatiivista dataa heikkouksista ja vahvuuksista tai optimaalisista suorituksista vaihtelevissa tilanteissa (Hughes & Bartlett, 2002; Wright ym. 2013). Datan avulla voidaan analysoida esimerkiksi valitun pelitavan toteutumista, sen menestyksellisyyttä tai ennen ottelua tehtyjen oletusten paikkansapitävyyttä (Cordes ym. 2012).

Erilaisista pelaajaseurantajärjestelmistä saatavan fysiologisen datan avulla fysiikkavalmentajat voivat seurata harjoitusten ja otteluiden pelaajille aiheuttamaa kuormitusta ja säätää, esimerkiksi keventää, harjoitusohjelmia yksilöllisesti. Datan avulla voidaan tarkastella fyysisen suorituskyvyn muutoksia pidemmällä aikavälillä ja analysoida erilaisten harjoitusmenetelmien toimivuutta (Mujika & Padilla 2003). Pelaajien ylikuormitusta välttämällä fysiologisen datan avulla pyritään minimoimaan vammariskiä (Dvorak ym. 2000). Myös esimerkiksi pelaajien poikkeavat sykearvot tietyllä kuormituksella voidaan tunnistaa, jolloin erilaiset tartuntataudit huomataan jo varhaisessa vaiheessa (Link 2018, 4). Vammojen jälkeisessä kuntoutuksessa voidaan hyödyntää pelaajien pitkän aikavälin dataa, jonka avulla voidaan tarkastella kuntoutuksen edistymistä ja arvioida, milloin pelaaja on jälleen täydessä pelikunnossa (Blobel ym. 2017).

Seurajohto voi hyödyntää dataa pelaajasiirtoja ja -sopimuksia koskevien päätösten tukena (Link 2018, 4). Tähtitieteellisiin summiin kohonneet siirtokorvaukset ja palkat kannustavat seuroja tunnistamaan nuoret lahjakkuudet mahdollisimman varhaisessa vaiheessa (Buraimo ym. 2015; Simmons 2007). Maailmanlaajuiset pelaajatietokannat, mm. Opta ja Wyscout, tarjoavat seurojen kykyjenetsijöille valtavan määrän dataa pelaajista ja heidän ominaisuuksistaan, jonka avulla seurat voivat etsiä tarpeisiinsa ja budjettiinsa sopivia pelaajia (Hakes & Sauer 2006). Urheilulisten ja taloudellisten motiivien lisäksi urheiludatan valtava määrä avaa mielenkiintoisia mahdollisuuksia liikuntatieteilijöille ja akateemiselle tutkimukselle (Coleman 2012).



## 7 TUTKIMUKSEN TARKOITUS

Jalkapallo-ottelun aerobinen, anaerobinen ja henkinen kuormitus ovat huomattavia (Bangsbo ym. 2006). Aikaisemmin on todettu sekä pelaajien kulkeman kokonaismatkan että korkeaintensiteettisten suoritusten määrän vähenevän ottelun toisella puoliajalla, erityisesti ottelun viimeisen 15 minuutin aikana (Mohr ym. 2003). Juoksemisen vähenemisen voisi olettaa vaikuttavan joukkueen pelaajien välisiin etäisyyksiin, mutta tutkimuksia aiheesta ei löytynyt. Sen vuoksi tämän tutkimuksen tarkoitus on selvittää ottelunaikaisen fysiologisen ja spatiotemporaalisen datan avulla, miten pelaajien fyysinen kuormitus vaikuttaa joukkueen käyttämän pinta-alan dimensioihin.

**Tutkimuskysymys 1:** Miten joukkueen käyttämän pinta-alan dimensiot muuttuvat pelin edetessä?

**Tutkimuskysymys 2:** Miten joukkueen fyysinen kuormitus muuttuu pelin edetessä?

**Tutkimuskysymys 3:** Korreloiko joukkueen fyysinen kuormitus joukkueen käyttämän pinta-alan dimensioiden kanssa ottelun aikana?

**Hypoteesi:** Pelaajien liikkuminen kentällä vaikuttaa joukkueen pinta-alaan, joten fyysinen kuormitus ottelun aikana korreloi joukkueen käyttämän pinta-alan dimensioiden kanssa. Joukkueen fyysisen kuormituksen kumuloituessa pelaajien kulkema matka sekä korkeaintensiteettiset suoritukset vähenevät ottelun loppua kohden (Mohr ym. 2003), jolloin pinta-alan dimensiot kasvavat.

## 8 TUTKIMUSMENETELMÄT

### 8.1 Tutkimusaineisto ja koehenkilöt

Tutkimus suoritettiin yhteistyössä Polar Electro Oy:n kanssa. Tutkimuksessa käytetty aineisto kerättiin kolmessa Suomen korkeimman miesten sarjatasen ottelussa kaudella 2020. Otteluissa mitattiin kotijoukkueen pelaajien sykettä, kuljettua kokonaismatkaa, kuljettua matkaa eri nopeusalueilla, kiihdytyksien ja jarrutuksien lukumäärää, kovavauhtisten juoksujen määrää sekä askeltiheyttä. Lisäksi seurattiin kotijoukkueen pelaajien sijaintia kentällä. Kotijoukkue oli sama jokaisessa kolmessa ottelussa. Dataa kerättiin yhteensä 20 miespelaajalta (ikä  $27,3 \pm 4,6$ , pituus  $182,2 \pm 7,3$  cm). Tutkittava joukkue ja sen pelaajat osallistuivat tutkimukseen vapaaehtoisesti sekä hyväksyivät tutkimuksessa käytetyn pelaajaseurantapalvelun käyttöehdot. Tutkittavilla oli mahdollisuus keskeyttää osallistumisensa tutkimuksen aikana niin halutessaan.

### 8.2 Mittauslaitteisto

Tutkimusaineiston keräämiseen käytettiin Polar Team Pro -pelaajaseurantajärjestelmää (Polar Electro Oy, Kempele, Suomi). Järjestelmä yhdistää tarkan GPS-paikannukseen perustuvan liiketiedon, liikeanturin tuottaman liiketiedon sekä integroidun sykemittauksen. Järjestelmään kuuluvat sensorit, älypaita tai sykevyö, sensoritelakka sekä sovellus ja verkkopalvelu. Jokaisella pelaajalla on oma sensorinsa, joka kerää sykedataa, GPS-paikannusdataa sekä liiketiedon 3D-kiihtyvyyssanturin, gyroskoopin ja magnetometrin avulla. Dataa voidaan seurata reaaliaikaisesti tablettitietokoneen näytöltä Bluetooth LE -yhteyden avulla. Harjoituksen tai ottelun jälkeen suoritusdata siirretään sensoritelakan avulla Polar Team Pro -verkkopalveluun, jossa dataa voidaan analysoida perusteellisemmin. Verkkopalvelusta suoritusdataa voidaan viedä myös muihin analyysiohjelmistoihin, esimerkiksi tilastollista analyysia varten.

### 8.3 Datan käsittely ja laskenta

Tutkimuksessa käytetty data oli peräisin Polar Team Pro -verkkopalvelusta (Polar Electro Oy, Kemple, Suomi). Palvelun tuottamasta datasta tutkimuksessa hyödynnettiin seuraavat muuttujat: GPS-paikannuksen leveys- (lat) ja pituusasteet (lng) (näytetaajuus 1 Hz) sekä fyysisistä muuttujista syke, nopeus ja kiihtyvyys (näytetaajuus 10 Hz).

Pelaajien fyysisen kuormituksen arvioimiseksi laskettiin metabolinen teho, joka määräytyy nopeuden ja kiihtyvyyden avulla (Osgnach ym. 2010). Koska pelaajien massat eivät olleet tiedossa, tehon yksikkönä käytettiin wattia painokiloa kohden (W/kg). Metabolisen tehon avulla määritettiin edelleen korkean ja erittäin korkean tehon työmäärät integroimalla teho valitun kynnyksen ylittävän ajanjakson yli. Kynnykset määritettiin kansainvälisen tason jalkapalloilijoiden maksimaalisen aerobisen nopeuden (MAS) arvion (5 m/s) avulla (Rampinini ym. 2007). Korkean tehon kynnyks määritettiin laskutoimituksella  $5 \text{ m/s} * 3,6 \text{ J/kg/m} = 18 \text{ W/kg}$ , jossa 3,6 J/kg/m on Osgnachin ym. (2010) menetelmän mukaan juoksun energiankulutus tasaisella kovalla alustalla vakionopeudella. Erittäin korkean tehon kynnyks oli  $1,5 * 5 \text{ m/s} * 3,6 \text{ J/kg/m} = 27 \text{ W/kg}$ . Fyysisen ja paikannusdatan synkronoimiseksi syke ja teho aikakeskiarvoistettiin, jolloin sykkeen ja tehon näytetaajuus muunnettiin 1 Hz:ksi.

Pelaajien sijainti kentällä määritettiin GPS-paikannuksen leveys- ja pituusasteiden avulla. Ensin radiaaneiksi muunnetut leveys- ja pituuskoordinaatit muunnettiin karteesiseen maapallon xy-koordinaatistoon seuraavien yhtälöiden avulla:

$$x = r * lng * \cos(lat_{ref}) \quad (1)$$

$$y = r * lat \quad (2)$$

missä  $r$  on maapallon säde (6371 km) ja  $lat_{ref}$  on kentän keskellä sijaitsevan referenssipisteen leveyskoordinaatti. Yhtälöiden (1) ja (2) käyttö ja oletus karteesisesta koordinaatistosta ovat perusteltuja, sillä tarkasteltava alue on pieni. Seuraavaksi maapallon xy-koordinaatit muunnettiin jalkapallokentän (Bolt Arena, Helsinki, Suomi) koordinaatistoon. Paikallinen

koordinaatisto määritettiin Google Maps -palvelun (Google LLC, Kalifornia, Yhdysvallat) avulla määrittämällä kolmen kulmalipun sijainti. Kentän x-akseliksi valittiin pituus (105 m), y-akseliksi leveys (68 m) ja origoksi kentän keskipiste.

Joukkueen geometrinen keskipiste laskettiin kenttäpelaajien x- ja y-koordinaattien keskiarvona. Koska kokoonpanoon nimettyjä pelaajia (18 kpl) on enemmän kuin kenttäpelaajia (10 kpl), kenttäpelaajat määritettiin seuraavasti: Ensiksi, maalivahteja ei otettu mukaan tarkasteluun. Toiseksi, ottelupöytäkirjan mukaan pelaaja oli merkitty kentälle. Pelaajavaihdot voitiin määrittää minuutin tarkkuudella pöytäkirjan perusteella. Kolmanneksi, kenttäpelaaja oli kentän rajojen sisäpuolella. Siten, esimerkiksi loukkaantunutta kentän ulkopuolella huollettavana olevaa pelaajaa ei katsottu kenttäpelaajaksi. Kyseisessä aikapisteessä dataa on siis vain yhdeksältä pelaajalta. Pelaajan palattua takaisin kentän rajojen sisäpuolelle hänet katsottiin jälleen kenttäpelaajaksi.

Joukkueen geometrisen keskipisteen lisäksi laskettiin myös pelaajien x- ja y-suuntaisen poikkeaman itseisarvo geometrisestä keskipisteestä. Lisäksi laskettiin x- ja y-poikkeamien resultanti, joka vastaa pelaajan etäisyyttä suorinta reittiä joukkueen geometriseen keskipisteeseen. Syke, teho ja paikannustieto synkronoitiin aikavektoreiden avulla. Tahdistuksen tarkkuus oli yksi sekunti. Ottelun puoliaikojen alku ja loppu määritettiin minuutin tarkkuudella ja puoliajan pituudeksi määritettiin 45 minuuttia riippumatta erotuomarin antamasta lisäajasta.

#### **8.4 Muuttujat ja tilastolliset menetelmät**

Joukkueen pinta-alan dimensioiden ottelunaikaisten muutosten tarkasteluun valittiin muuttujiksi pelaajien keskimääräinen poikkeama pituus- ja leveyssuunnassa joukkueen geometrisestä keskipisteestä. Pelaajien ottelunaikaista fyysistä kuormitusta arvioitiin metabolisen tehon, korkean ja erittäin korkean tehon työmäärien avulla. Muista muuttujista tarkasteluun valittiin pelaajien keskimääräinen ottelussa kulkema matka sekä keskimääräinen syke. Muuttujia arvioitiin koko ottelun (90 minuuttia), puoliaikojen (45 minuuttia), 15 ja viiden minuutin aikaikkunoiden keskiarvoina. Muuttujien välisten korrelaatioiden laskemiseen käytettiin viiden minuutin keskiarvoja. Fyysisten muuttujien ja pelaajien paikannusdataan perustuvien muuttujien

riippuvuutta tarkasteltiin Spearmanin järjestyskorrelaatiokertoimella. Tilastollisen merkittävyyden rajana pidettiin p-arvoa  $p < 0.05$ . Otteluiden sisäisten aikaikkunoiden keskinäiseen vertailuun käytettiin Wilcoxonin merkittyjen sijalukujen testiä Bonferroni-korjaus huomioiden.

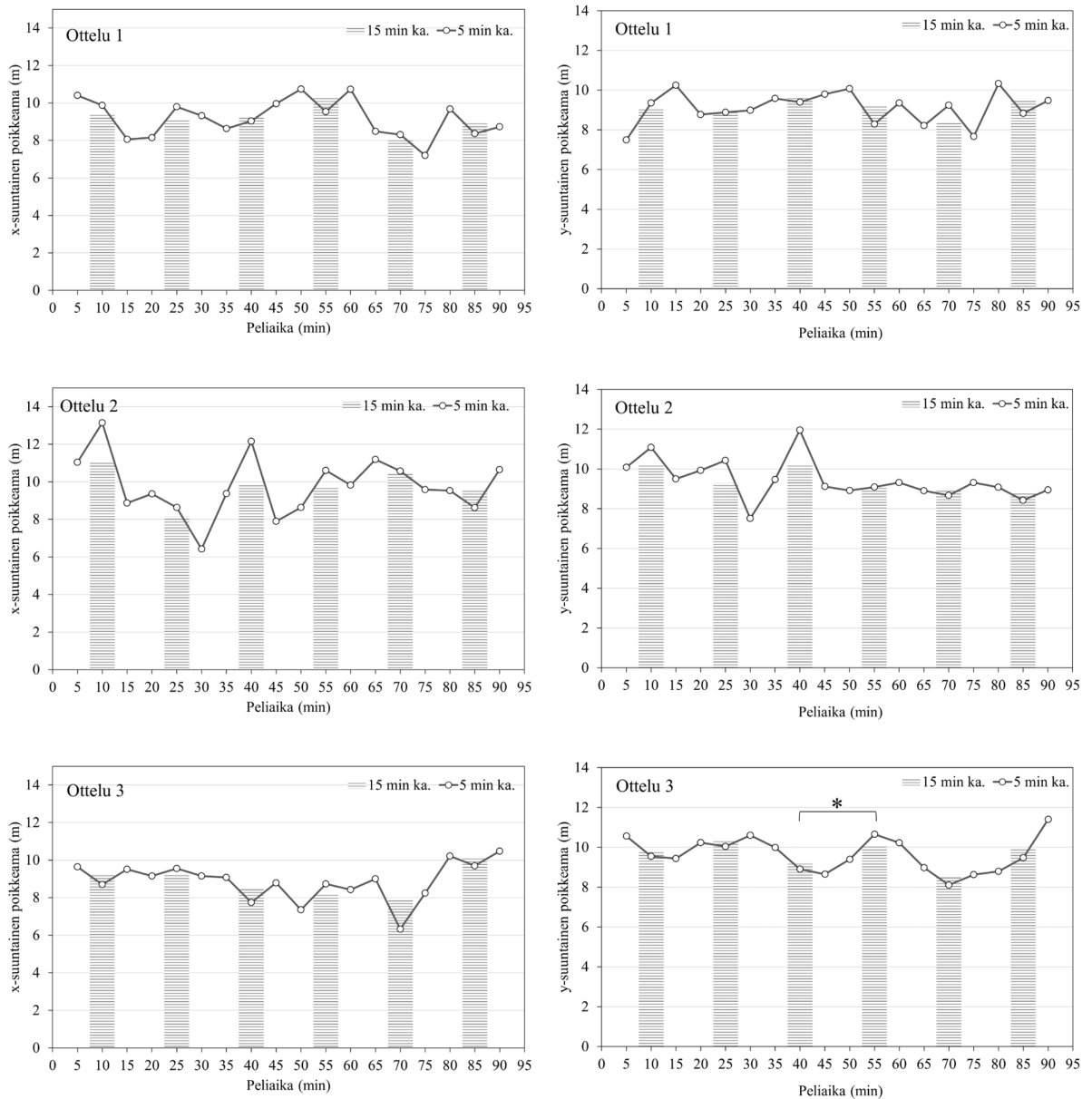
## 9 TULOKSET

### 9.1 Joukkueen käyttämän pinta-alan dimensioiden muutokset

Joukkueen pelaajien 90 minuutin ja puoliaikojen (45 minuuttia) keskimääräiset pituus- ja leveysuuntaiset poikkeamat joukkueen geometrisestä keskipisteestä kolmessa ottelussa on esitetty taulukossa 1. Ottelut eivät eronneet tilastollisesti merkitsevästi poikkeamien suhteen. Pelaajien keskimääräiset pituus- ja leveysuuntaiset poikkeamat viiden ja 15 minuutin keskiarvoina kolmen ottelun aikana on esitetty kuvassa 5. Poikkeamat eivät kasvaneet johdonmukaisesti otteluiden loppua kohden. Ottelussa 3 pituussuuntaisen poikkeaman viimeisen 15 minuutin keskiarvo oli suurempi ottelun muihin 15 minuutin keskiarvoihin verrattuna. Erot eivät kuitenkaan olleet tilastollisesti merkittäviä. Lisäksi sekä pituus- että leveysuuntaisen poikkeaman viiden minuutin keskiarvo oli suurimmillaan ottelun viimeisen viiden minuutin aikana.

TAULUKKO 1. Pelaajien keskimääräiset pituus- (x) ja leveysuuntaiset (y) poikkeamat joukkueen geometrisestä keskipisteestä sekä pelaajien keskimääräiset kuljetut matkat (d) keskiha-jontoiheen kolmessa ottelussa. \*\*  $p < 0.01$

|             | Ottelu 1 (m) | Ottelu 2 (m)  | Ottelu 3 (m)  |
|-------------|--------------|---------------|---------------|
| x 90 min    | 9.2 ± 4.0    | 9.3 ± 3.3     | 8.8 ± 2.4     |
| x 1. 45 min | 9.2 ± 4.3    | 9.0 ± 3.8     | 9.0 ± 3.5     |
| x 2. 45 min | 9.1 ± 3.7    | 9.6 ± 3.1     | 8.6 ± 2.2     |
| y 90 min    | 9.1 ± 3.9    | 9.5 ± 3.9     | 9.6 ± 3.1     |
| y 1. 45 min | 9.2 ± 4.0    | 9.7 ± 4.2     | 9.8 ± 4.7     |
| y 2. 45 min | 9.1 ± 4.1    | 9.3 ± 4.1     | 9.5 ± 2.8     |
| d 90 min    | 10144 ± 483  | 10376 ± 632   | 9933 ± 587    |
| d 1. 45 min | 5106 ± 210   | 5328 ± 327 ** | 5264 ± 395 ** |
| d 2. 45 min | 5038 ± 319   | 5048 ± 296 ** | 4669 ± 370 ** |



KUVA 5. Pelaajien keskimääräiset pituus (x) ja leveys suuntaiset (y) poikkeamat joukkueen geometrisestä keskipisteestä. Kuvan vasemmassa laidassa otteluiden x-suuntaiset poikkeamat ja oikealla y-suuntaiset poikkeamat. Viivakuvaajat esittävät poikkeamien viiden minuutin keskiarvoja ja palkkikuvaajat 15 minuutin keskiarvoja. Kuvaajien pystyakselilla on poikkeaman suuruus (m) ja vaaka-akselilla ottelun peliaika (min). \*  $p < 0.05$

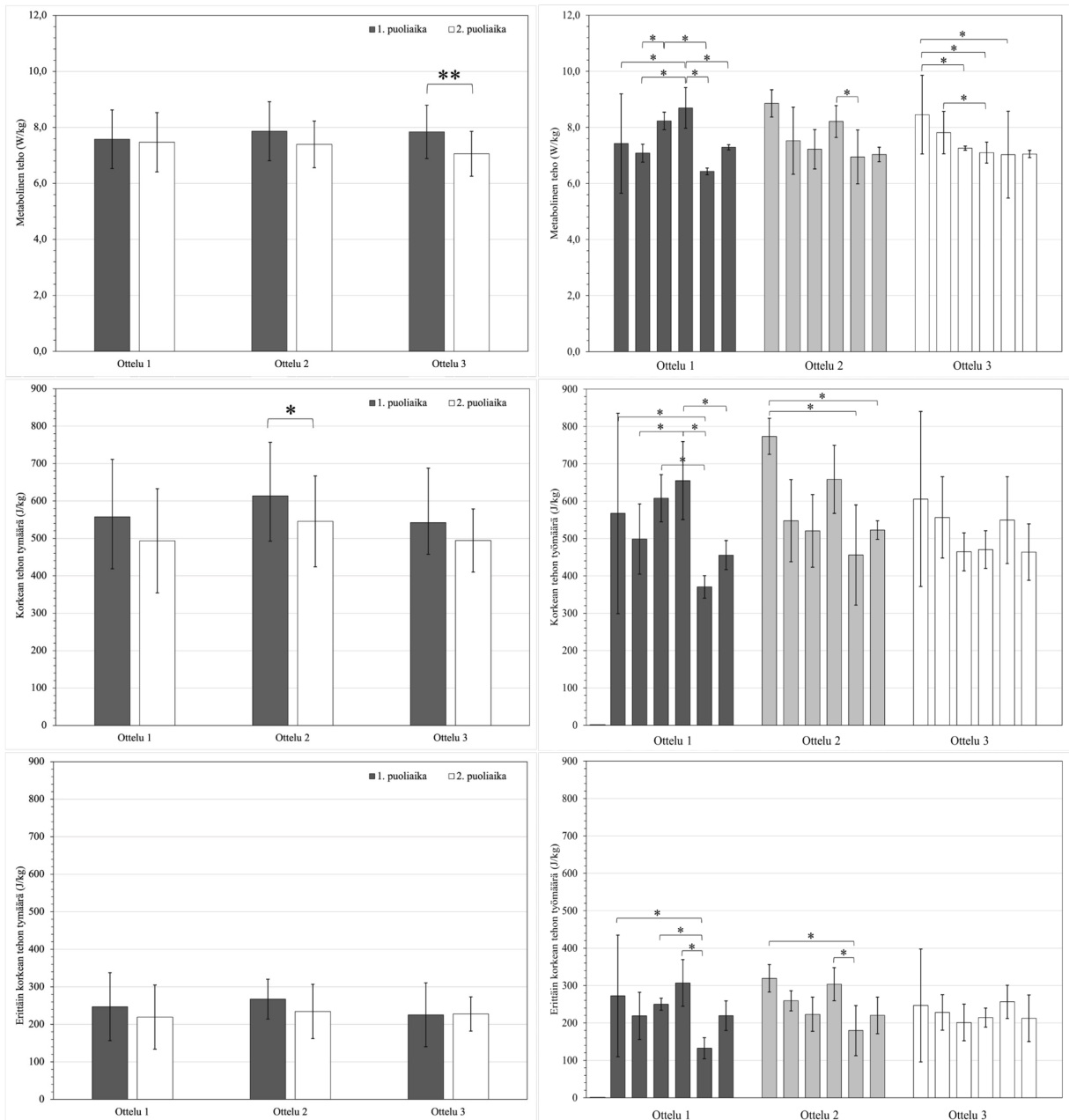
## 9.2 Joukkueen fyysinen kuormitus

Joukkueen keskimääräinen metabolinen teho, korkean sekä erittäin korkean tehon työmäärä kolmessa ottelussa 15 minuutin ja puoliaikojen keskiarvoina on esitetty kuvassa 6. Viiden minuutin keskiarvot on esitetty kuvassa 7 vastaavasti. Pelaajien keskimääräinen kuljettu matka (taulukko 1) väheni toisella puoliajalla kaikissa otteluissa (-1,3 %, -5,3 % ja -11,3 %). Otteluissa 2 ja 3 ero oli tilastollisesti merkitsevä ( $p < 0.01$ ). Myös metabolinen teho oli alhaisempi toisella puoliajalla jokaisessa ottelussa. Ottelussa 3 ero oli tilastollisesti merkitsevä ( $p < 0.01$ ). Korkean tehon työmäärät olivat niin ikään alhaisempia toisella puoliajalla kaikissa kolmessa ottelussa. Ero oli tilastollisesti merkitsevä ottelussa 2 ( $p < 0.05$ ) Erittäin korkean tehon työmäärä oli alhaisempi toisella puoliajalla otteluissa 1 ja 2, mutta hiukan suurempi ottelussa 3. Erot eivät kuitenkaan olleet tilastollisesti merkitseviä.

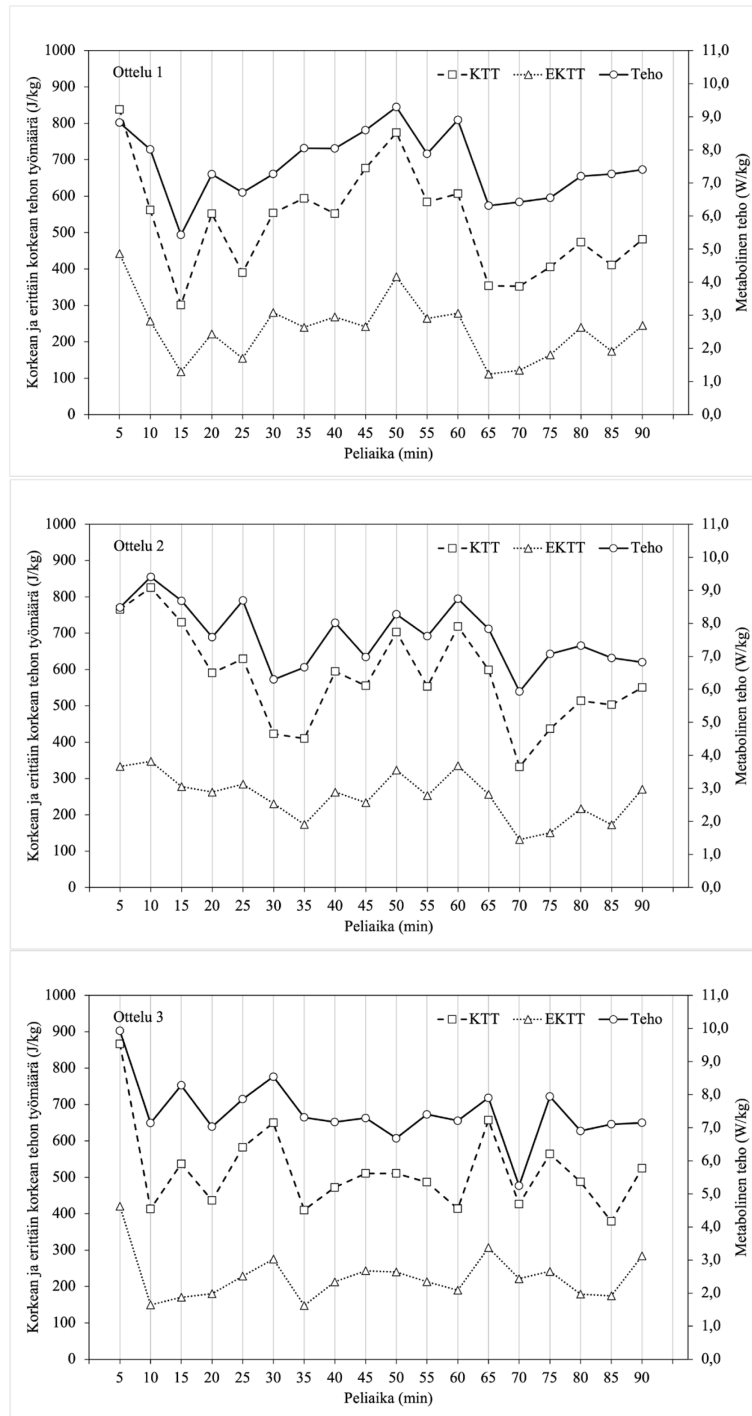
Otteluissa 1 ja 2 joukkueen metabolinen teho, korkean sekä erittäin korkean tehon työmäärä olivat suurimmillaan molempien puoliaikojen alussa (kuvat 6 ja 7). Fyysisesti kuormittavimpia jaksoja seurasivat molemmilla puoliajoilla otteluiden vähiten kuormittavimmat jaksot. 15 minuutin keskiarvoja tarkasteltaessa ottelun 1 toisen puoliajan ensimmäinen kolmannes oli ottelun kuormittavin jakso ja sitä seuraava 15 minuuttia ottelun vähiten kuormittava jakso kaikkien kolmen muuttujan osalta (kuva 6). Erot ottelun kuormittavimman ja vähiten kuormittavimman 15 minuutin jakson välillä olivat tilastollisesti merkitseviä ( $p < 0.05$ ). Ottelussa 2 kaikki kolme muuttujaa olivat suurimmillaan ensimmäisen puoliajan ensimmäisen 15 minuutin aikana ja vastaavasti alimmillaan toisen puoliajan toisella kolmanneksella (kuva 6). Erot olivat tilastollisesti merkittäviä ( $p < 0.05$ ) korkean ja erittäin korkean intensiteetin osalta.

Ottelussa 3 kaikki kolme muuttujaa olivat suurimmillaan ottelun alussa, erityisesti ensimmäisen viiden minuutin aikana (kuva 7). 15 minuutin keskiarvoja tarkasteltaessa metabolinen teho laski tasaisesti ottelun loppua kohden. Muiden muuttujien osalta vastaavaa laskua ei tapahtunut.





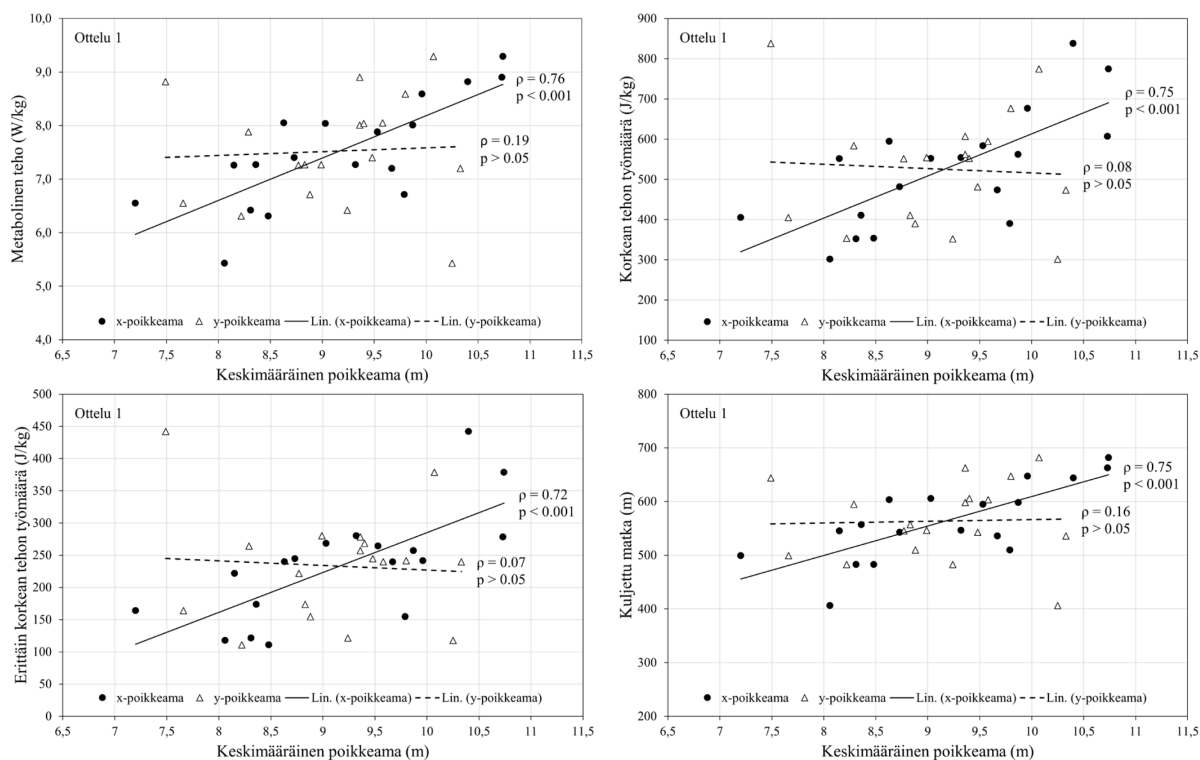
KUVA 6. Joukkueen pelaajien keskimääräiset metaboliset tehot, korkean tehon työmäärät ja erittäin korkean tehon työmäärät keskihajontoineen. Ylärivillä metabolinen teho (W/kg) ottelun puoliaikojen (vasemmalla) sekä 15 minuutin keskiarvoina (oikealla). Keskirivillä korkean tehon työmäärä (J/kg) ja alimmalla rivillä erittäin korkean tehon työmäärä (J/kg) vastaavasti. Vasemman sarakkeen yksittäinen palkki kuvaa 45 minuutin puoliajan keskiarvoa. Oikealla yksittäinen palkki kuvaa 15 minuutin keskiarvoa ja kolme ottelua on eroteltu eri väreillä. \* $p < 0.05$ ; \*\*  $p < 0.01$



KUVA 7. Pelaajien keskimääräinen metabolinen teho ja korkean sekä erittäin korkean tehon työmäärä 5 minuutin keskiarvoina kolmessa ottelussa. Kuvaajien vasemmalla pystyakselilla on työn määrä painokiloa kohden (J/kg), oikealla pystyakselilla metabolinen työ painokiloa kohden (W/kg) ja vaaka-akselilla ottelun peliaika (min). Kiinteä viiva kuvaa metabolista tehoa, katkoviiva korkean tehon työmäärää (KTT) ja pisteviiva erittäin korkean tehon työmäärää (EKT).

### 9.3 Joukkueen pinta-alan dimensioiden ja fyysisten muuttujien väliset yhteydet

Ottelussa 1 joukkueen keskimääräinen metabolinen teho, korkean ja erittäin korkean tehon työmäärä sekä ottelussa kuljettu matka korreloivat voimakkaasti ( $0.72 \leq \rho \leq 0.76$ ,  $p < 0.001$ ) joukkueen keskimääräisen pituussuuntaisen poikkeaman kanssa (taulukko 2 ja kuva 8). Korrelaatiot olivat tilastollisesti erittäin merkitseviä. Lisäksi myös joukkueen keskimääräinen syke korreloi kohtalaisesti ( $\rho = 0.51$ ,  $p < 0.05$ ) ja tilastollisesti merkitsevästi pituussuuntaisen poikkeaman kanssa. Sen sijaan joukkueen keskimääräisen leveysuuntaisen poikkeaman ja pelaajien fyysisten muuttujien välillä lineaarista yhteyttä ei ollut.

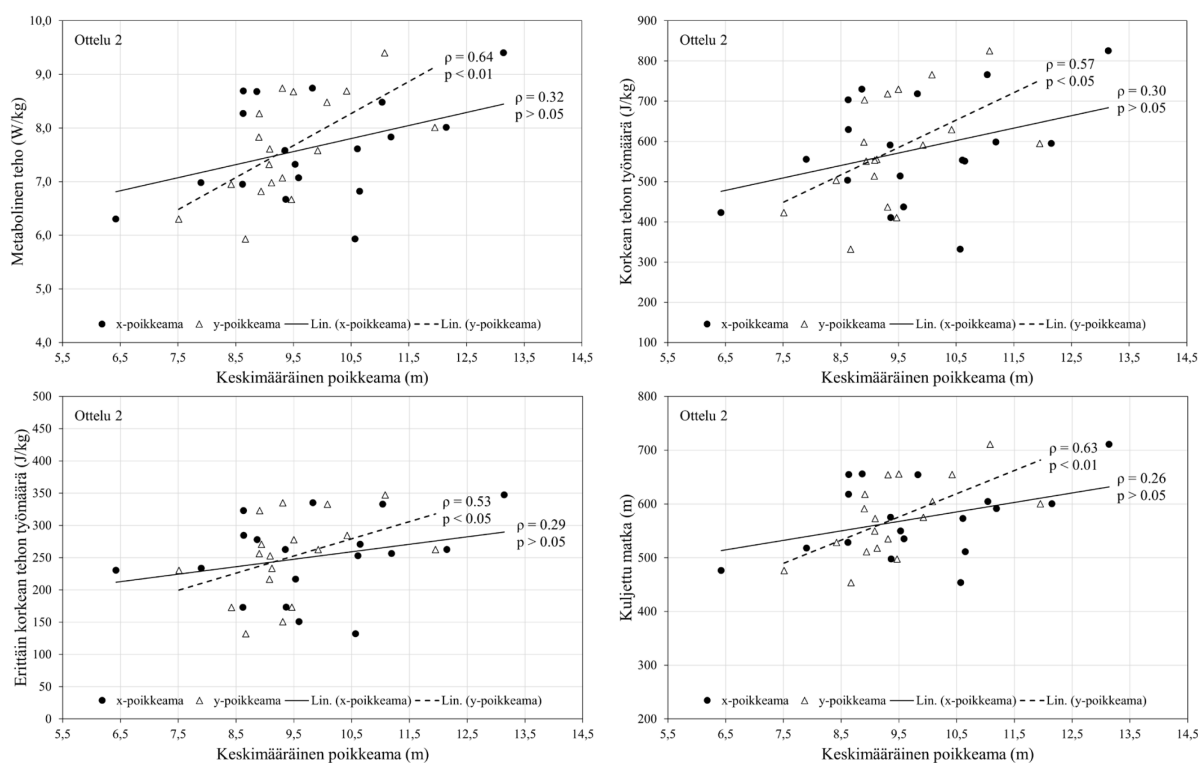


KUVA 8. Ylhäällä vasemmalla joukkueen keskimääräisen metabolisen tehon korrelaatio pelaajien keskimääräiseen pituus- (x) ja leveysuuntaiseen (y) poikkeamaan joukkueen geometrisestä keskipisteestä ottelussa 1. Ylhäällä oikealla korkean tehon työmäärän, alhaalla vasemmalla erittäin korkean tehon työmäärän ja alhaalla oikealla kuljetun matkan korrelaatiot vastavasti.

TAULUKKO 2. Joukkueen keskimääräisen sykkeen, metabolisen tehon ja työmäärien korrelaatiot pelaajien keskimääräiseen leveys- ja pituussuuntaiseen poikkeamaan joukkueen geometrisestä keskipisteestä kolmessa ottelussa. Spearmanin järjestyskorrelaatiot on laskettu viiden minuutin keskiarvoilla,  $n = 18$ .

|       | Ottelu 1 |      | Ottelu 2 |        | Ottelu 3 |      |
|-------|----------|------|----------|--------|----------|------|
|       | X        | Y    | X        | Y      | X        | Y    |
| Syke  | 0.59*    | 0.32 | 0.14     | 0.17   | 0.19     | 0.30 |
| MT    | 0.76***  | 0.19 | 0.32     | 0.64** | 0.20     | 0.28 |
| KTT   | 0.75***  | 0.08 | 0.30     | 0.57*  | 0.25     | 0.09 |
| EKTT  | 0.72***  | 0.07 | 0.29     | 0.53*  | 0.02     | 0.10 |
| Matka | 0.75***  | 0.16 | 0.26     | 0.63** | 0.17     | 0.22 |

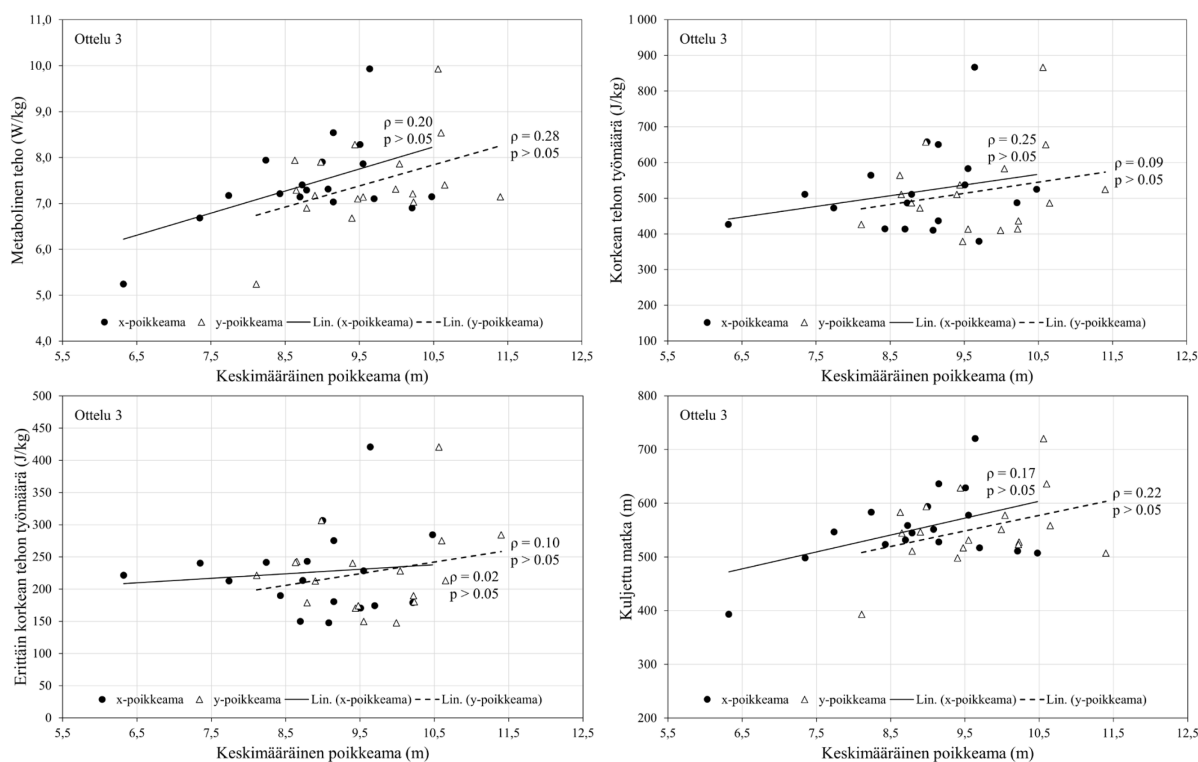
MT, metabolinen teho; KTT, korkean tehon työmäärä; EKTT, erittäin korkean tehon työmäärä; X, poikkeama pituussuunnassa; Y, poikkeama leveysuunnassa; \*  $p < 0.05$ ; \*\*  $p < 0.01$ ; \*\*\*  $p < 0.001$



KUVA 9. Ylhäällä vasemmalla joukkueen keskimääräisen metabolisen tehon korrelaatio pelaajien keskimääräiseen pituus- (x) ja leveysuuntaiseen (y) poikkeamaan joukkueen geometrisestä keskipisteestä ottelussa 2. Ylhäällä oikealla korkean tehon työmäärän, alhaalla

vasemmalla erittäin korkean tehon työmäärän ja alhaalla oikealla kuljetun matkan korrelaatiot vastaavasti.

Ottelussa 2 joukkueen keskimääräinen metabolinen teho ( $\rho = 0.64$ ,  $p < 0.01$ ) sekä ottelussa kuljettu matka ( $\rho = 0.63$ ,  $p < 0.01$ ) korreloivat voimakkaasti sekä korkean ( $\rho = 0.57$ ,  $p < 0.05$ ) ja erittäin korkean tehon työmäärä ( $\rho = 0.53$ ,  $p < 0.05$ ) kohtalaisesti joukkueen keskimääräisen leveysuuntaisen poikkeaman kanssa (taulukko 2 ja kuva 9). Metabolinen teho, kuljettu matka ja korkean sekä erittäin korkean tehon työmäärä korreloivat heikosti ( $0.26 \leq \rho \leq 0.32$ ,  $p > 0.05$ ) pituussuuntaisen poikkeaman kanssa, mutta korrelaatiot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. Joukkueen keskimääräisen sykkeen ja keskimääräisten poikkeamien välillä ei ollut lineaarista yhteyttä.



KUVA 10. Ylhäällä vasemmalla joukkueen keskimääräisen metabolisen tehon korrelaatio pelaajien keskimääräiseen pituus- (x) ja leveysuuntaiseen (y) poikkeamaan joukkueen geometrisestä keskipisteestä ottelussa 3. Ylhäällä oikealla korkean tehon työmäärän, alhaalla vasemmalla erittäin korkean tehon työmäärän ja alhaalla oikealla kuljetun matkan korrelaatiot vastaavasti.

Ottelussa 3 joukkueen keskimääräinen metabolinen teho korreloi heikosti sekä keskimääräisen pituus- ( $\rho = 0.20$ ,  $p > 0.05$ ) että leveyssuuntaisen ( $\rho = 0.28$ ,  $p > 0.05$ ) poikkeaman kanssa. Joukkueen keskimääräinen syke ( $\rho = 0.30$ ,  $p > 0.05$ ) sekä kuljettu matka ( $\rho = 0.22$ ,  $p > 0.05$ ) korreloivat heikosti leveyssuuntaisen poikkeaman kanssa. Lisäksi joukkueen keskimääräinen korkean tehon työmäärä korreloi heikosti ( $\rho = 0.25$ ,  $p > 0.05$ ) pituussuuntaisen poikkeaman kanssa. Korrelaatiot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä.

## 10 POHDINTA

Tämän työn tarkoituksena oli tutkia miesten ammattilaisjalkapallojoukkueen käyttämän pinta-alan ottelunaikaisten dimensioiden muuttumista ja pelaajien ottelunaikaista fyysistä kuormitusta sekä niiden välistä mahdollista yhteyttä kolmessa Suomen korkeimman sarjatason ottelussa. Tulosten perusteella, hypoteesin vastaisesti, joukkueen pelaajien keskimääräiset pituus- ja leveyssuuntaiset poikkeamat joukkueen geometrisestä keskipisteestä eivät kasvaneet puoliaikojen eikä ottelun loppua kohden johdonmukaisesti. Sen sijaan pelaajien fyysinen kuormitus väheni pääsääntöisesti ottelun toisella puoliajalla ja myös kohtalaisesti ottelun loppua kohden hypoteesin mukaisesti. Lisäksi ottelun fyysisesti kuormittavimpia jaksoja seurasi pääsääntöisesti fyysisesti kevyempi jakso. Hypoteesin vastaisesti pelaajien keskimääräiset pituus- ja leveyssuuntaiset poikkeamat eivät korreloineet negatiivisesti joukkueen fyysisen kuormituksen kanssa.

Joukkueen pinta-alaan vaikuttaa merkittävästi se, onko joukkueella pallonhallinta, vai ei (Moura ym. 2011; Moura ym. 201; Frencken ym. 2011). Joukkueen voittaessa pallonhallinnan joukkueen käyttämä pinta-ala kasvaa ja vastaavasti joukkueen menettäessä pallon joukkueen käyttämä pinta-ala pienenee (Frencken ym. 2011). Toisin sanoen joukkueen käyttämä pinta-ala on suurempi hyökätessä kuin puolustaessa. Tässä tutkimuksessa ei otettu huomioon pallonhallintaa, mikä on huomioitava tuloksia tarkasteltaessa. Joukkueiden tasoero ja taktiikat sekä ottelun tilanne ja merkitys vaikuttavat pallonhallinnan jakautumiseen ottelussa (Lago & Martin 2007; Lago 2009; Lago ym. 2010) ja siten myös mahdollisesti joukkueiden pinta-aloihin ja edelleen keskimääräisiin pituus- ja leveyssuuntaisiin poikkeamiin joukkueen geometrisestä keskipisteestä. Lisäksi loukkaantuneen pelaajan jääminen makaamaan esimerkiksi kentän hyökkäyspään joukkueen puolustaessa voi vaikuttaa merkittävästi joukkueen pituussuuntaisen poikkeaman kasvuun. Tutkimuksessa ei myöskään huomioitu oliko peli käynnissä vai ei. Tämä on huomioitava tulosten tarkastelussa, sillä tehokasta peliaikaa voi olla vain noin puolet ottelun peliajasta (Wallace & Norton 2014).

Pelaajien fyysistä kuormitusta arvioitiin metabolisen tehon (Osgnach ym. 2010) avulla, josta johdettiin edelleen korkean ja erittäin korkean tehon työmäärät. Osgnachin ym. (2010)

esittelemä menetelmä metabolisen tehon arvioimiseksi on herättänyt hiljattain kasvavaa mielenkiintoa palloilulajien tutkimuksessa ja kerännyt myös kritiikkiä (Buchheit ym. 2015) osakseen. Buchheitin ym. (2015) mukaan menetelmä aliarvioi huomattavasti liikkumisen todellisia metabolisia vaatimuksia. Menetelmä on kuitenkin todettu käyttökelpoiseksi (Manzi ym. 2014; Hoppe ym. 2017), joten tässä tutkimuksessa sen käyttö oli perusteltua.

Metabolinen teho, korkean tehon työmäärä sekä kuljettu matka vähenivät toisella puoliajalla kaikissa otteluissa. Myös erittäin korkean tehon työmäärä väheni toisella puoliajalla otteluissa 1 ja 2. Tulokset ovat linjassa aikaisempien tutkimusten kanssa, sillä sekä pelaajien kulkeman kokonaismatkan että korkeaintensiteettisten suoritusten määrän on todettu vähenevän ottelun toisella puoliajalla (Bangsbo ym. 1991; Mohr ym. 2003; Rampinini ym. 2009). Fyysisesti kuormittavinta 15 minuutin jaksoa seurasi tilastollisesti merkitsevästi ( $p < 0.05$ ) kevyempi jakso ottelussa 1 metabolisen tehon sekä korkean ja erittäin korkean tehon työmäärän osalta. Ero oli havaittavissa myös viiden minuutin keskiarvoja tarkasteltaessa. Myös muissa otteluissa vastaava ero oli havaittavissa metabolisen tehon ja korkean tehon työmäärän osalta, vaikka erot eivät olleetkaan tilastollisesti merkitseviä. Tulos on niin ikään linjassa aikaisempien löydösten kanssa, sillä Mohr ym. (2003) raportoivat korkeaintensiteettisten suoritusten määrän vähenevän ottelun vaatvimman viiden minuutin jakson jälkeen. Tuloksien perusteella ei kuitenkaan voida päätellä, että fyysisen kuormituksen väheneminen olisi seurausta pelaajien väsymisestä. Esimerkiksi Lago ym. (2010) raportoivat johdossa olevan joukkueen pelaajien juoksevan vähemmän korkealla intensiteetillä. Edellä mainituilla joukkueen pinta-alaan vaikuttavilla tekijöillä on siis merkittävä vaikutus myös pelaajien fyysiseen kuormitukseen (Lago ym. 2010; Sarmiento ym. 2014). Lisäksi motivaatio on tärkeä päätöksentekoon ja siten myös fyysiseen kuormitukseen vaikuttava tekijä jalkapallo-ottelussa, kun pelaaja arvioi eteen tulevien suoritusten hyödyllisyyttä ja niiden vaatimaa ponnistelua (Marcora & Staiano 2010; Noakes 2012; Barte ym. 2020)

Koska pelaajien keskimääräiset poikkeamat joukkueen geometrisestä keskipisteestä eivät käyttäytyneet hypoteesin mukaisesti, myöskään hypoteesin mukaisia lineaarisia yhteyksiä ei poikkeamien ja fyysisen kuormituksen muuttujien välillä havaittu. Ottelussa 1 pelaajien keskimääräisen pituussuuntaisen poikkeaman ja kaikkien fyysisen kuormituksen muuttujien sekä kuljetun matkan välillä oli erittäin voimakas, tilastollisesti erittäin merkitsevä ( $p < 0.001$ )



positiivinen korrelaatio. Joukkueen pelaajien etäisyydet siis pienenevät pituussuunnassa fyysisen kuormituksen vähentyessä hypoteesin vastaisesti. Tämä voi mahdollisesti johtua seuraavista syistä: Fyysisen kuormituksen väheneminen ei välttämättä tarkoita pelaajien väsymistä. Toiseksi, pelaajat pystyvät noudattamaan sovittua pelitapaa väsymyksestä huolimatta esimerkiksi vähentämällä tietoisesti korkean tehon suorituksia. Kolmanneksi, pelaajat juoksevat keskimäärin vähemmän ja matalammalla intensiteetillä puolustaessa. Leveysuuntaisella poikkeamalla ei ollut lineaarista yhteyttä ottelussa 1, mikä on hiukan yllättävää, sillä useimpien joukkueen pinta-alaan vaikuttavien tekijöiden voisi olettaa vaikuttavan myös joukkueen leveyteen. Sitä vastoin otteluissa 2 ja 3 sekä pituus- että leveysuuntaisten poikkeamien ja fyysisen kuormituksen muuttujien sekä kuljetun matkan välillä havaittiin lineaarisia yhteyksiä, mutta ei yhtä voimakkaita kuin ottelussa 1. Mielenkiintoisesti, toisin kuin ottelussa 1, ottelussa 2 leveysuuntainen poikkeama oli selvästi voimakkaammin korreloitunut fyysisen kuormituksen muuttujien ja kuljetun matkan kanssa. Ottelussa 3 pituus- ja leveysuuntaisten poikkeamien korrelaatiot fyysisen kuormituksen muuttujiin olivat heikkoja eivätkä juurikaan eronneet toisistaan. Fyysisen kuormituksen muuttujista metabolinen teho korreloi voimakkaimmin ja tilastollisesti merkittävästi keskimääräisten poikkeamien kanssa otteluissa 1 ja 2.

## 10.1 Virhelähteet

Tutkimuksen suurin virhelähde on GPS-paikannuksen tarkkuus. On mahdotonta arvioida, millä tarkkuudella pelaajien paikantaminen kentälle vastasi todellisuutta. Satelliittipaikannuksen tarkkuus on paras kentän keskellä ja virheet korostuvat lähellä kentän rajoja, missä stadionin rakenteet estävät satelliitteja näkymästä ja aiheuttavat heijastuksia. GPS-paikannuksen avulla lasketut pelaajien keskimääräiset kuljetut matkat (taulukko 1) ovat kuitenkin linjassa aikaisempien tutkimuksien kanssa (Bradley ym. 2009; Mohr ym. 2003; Stølen ym. 2005), joten pelaajien paikannuksen voidaan olettaa onnistuneen hyvin. Toinen suuri virhelähde etenkin tulosten tulokinnassa on, ettei tehokasta peliaikaa ja katkoja ole eritelty.

## 10.2 Johtopäätökset

Tässä tutkimuksessa tutkittiin joukkueen käyttämän pinta-alan dimensioiden ja joukkueen fyysisen kuormituksen muuttumista sekä niiden mahdollista yhteyttä ottelun aikana. Tulokset viittaavat siihen, että fyysisen kuormituksen kumuloituminen ja siitä mahdollisesti aiheutuva pelaajien väsyminen ei kasvattanut tässä tutkimuksessa mitatuissa otteluissa joukkueen käyttämän pinta-alan dimensioita ottelun aikana. Joukkueen metabolinen teho oli lineaarisesti yhteydessä joukkueen pituus- ja leveysuuntaisiin poikkeamiin joukkueen geometrisestä keskipisteestä. Huomioiden kasvavan kiinnostuksen metabolinen teho ympärillä, tutkimuksen tulos antaa aiheita jatkotutkimuksille metabolinen teho ja joukkueen pinta-alan ottelunaikaisten muutosten yhteydestä.

## LÄHTEET

- Aguiar, M., Gonçalves, B., Botelho, G., Lemmink, K. & Sampaio, J. 2015. Footballers' movement behaviour during 2-, 3-, 4- and 5-a-side small-sided games. *Journal of sports sciences* 33 (12), 1259-1266.
- Akenhead, R. & Nassis, G. P. 2016. Training Load and Player Monitoring in High-Level Football: Current Practice and Perceptions. *International journal of sports physiology and performance* 11 (5), 587-593.
- Alexandre, D., da Silva, C., Hill-Haas, S., Wong, D., Natali, A., et al. 2012a. Heart Rate Monitoring in Soccer: Interest and Limits During Competitive Match Play and Training, Practical Application. *Journal of strength and conditioning research* 26 (10), 2890-2906.
- Alexandre, D., da Silva, C., Hill-Haas, S., Wong, D., Natali, A., et al. 2012b. Heart Rate Monitoring in Soccer: Interest and Limits During Competitive Match Play and Training, Practical Application. *Journal of strength and conditioning research* 26 (10), 2890-2906.
- Andersson, H., Raastad, T., Nilsson, J., Paulsen, G., Garthe, I., et al. 2008. Neuromuscular Fatigue and Recovery in Elite Female Soccer : Effects of Active Recovery. *Medicine and science in sports and exercise* 40 (2), 372-380.
- Araújo, D., Davids, K. & Hristovski, R. 2006. The ecological dynamics of decision making in sport. *Psychology of sport and exercise* 7 (6), 653-676.
- Arcos, A., Yanci, J., Mendiguchia, J. & Gorostiaga, E. 2014. Rating of Muscular and Respiratory Perceived Exertion in Professional Soccer Players. *Journal of strength and conditioning research* 28 (11), 3280-3288.
- Arnason, A., Sigurdsson, S. B., Gudmundsson, A., Holme, I., Engebretsen, L., et al. 2004. Physical fitness, injuries, and team performance in soccer. *Medicine and science in sports and exercise* 36 (2), 278-285.
- Ascensão, A., Rebelo, A., Oliveira, E., Marques, F., Pereira, L., et al. 2008. Biochemical impact of a soccer match - analysis of oxidative stress and muscle damage markers throughout recovery. *Clinical biochemistry* 41 (10), 841-851.
- Bangsbo, J. 1994. The physiology of soccer: With special reference to intense intermittent exercise. *Acta Physiol Scand* 151(Suppl. 619): 1-155

- Bangsbo, J., Norregaard, L. & Thorso, F. 1991. Activity Profile of Competition Soccer. *Canadian Journal of Sport Sciences-Revue Canadienne Des Sciences Du Sport* 16 (2), 110-116.
- Bangsbo, J., Mohr, M. & Krstrup, P. 2006. Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player. *Journal of sports sciences* 24 (7), 665-674.
- Bangsbo, J., Norregaard, L. & Thorso, F. 1991. Activity profile of competition soccer. *Canadian Journal of Sport Sciences* 16 (2), 110-116.
- Barte, J. C. M. 2018. *Fatigue in soccer*. Radboud Universiteit Nijmegen.
- Barte, J. C. M., Nieuwenhuys, A., Geurts, S. A. E. & Kompier, M. A. J. 2020. Effects of fatigue on interception decisions in soccer. Informa UK Limited.
- Barte, J. C. M., Nieuwenhuys, A., Geurts, S. A. E. & Kompier, M. A. J. 2018. Motivation counteracts fatigue-induced performance decrements in soccer passing performance. Informa UK Limited.
- Barte, J. C. M., Nieuwenhuys, A., Geurts, S. A. E. & Kompier, M. A. J. 2017. Fatigue experiences in competitive soccer: development during matches and the impact of general performance capacity. *Fatigue (Abingdon, Eng.)* 5 (4), 191-201.
- Blobel, T., Pfab, F., Wanner, P., Haser, C. & Lames, M. 2017. Healthy Reference Patterns (HRP) supporting prevention and rehabilitation process in professional football. In *Proceedings of World Conference on Science in Soccer, 31st May - 2nd June 2017* (p. 183). Reneese: Université Reneese 2.
- Boone, J., Vaeyens, R., Steyaert, A., Bossche, L. & Bourgois, J. 2012. Physical Fitness of Elite Belgian Soccer Players by Player Position. *Journal of strength and conditioning research* 26 (8), 2051-2057.
- Bowen, L., Gross, A. S., Gimpel, M. & Li, F. 2016. Accumulated workloads and the acute:chronic workload ratio relate to injury risk in elite youth football players. *BMJ*.
- Bowen, L., Gross, A. S., Gimpel, M., Bruce-Low, S. & Li, F. 2019. Spikes in acute:chronic workload ratio (ACWR) associated with a 5–7 times greater injury rate in English Premier League football players: a comprehensive 3-year study. *BMJ*.
- Bradley, P. S., Sheldon, W., Wooster, B., Olsen, P., Boanas, P., et al. 2009a. High-intensity running in English FA Premier League soccer matches. *Journal of sports sciences* 27 (2), 159-168.

- Bradley, P. S., Sheldon, W., Wooster, B., Olsen, P., Boanas, P., et al. 2009b. High-intensity running in English FA Premier League soccer matches. *Journal of sports sciences* 27 (2), 159-168.
- Buchheit, M., Manouvrier, C., Cassirame, J. & Morin, J. -. 2015. Monitoring Locomotor Load in Soccer: Is Metabolic Power, Powerful? *International journal of sports medicine* 36 (14), 1149-1155.
- Buchheit, M. & Simpson, B. M. 2017. Player tracking technology: half-full or half-empty glass? *International journal of sports physiology and performance* 12 (Suppl 2), S235-S2.
- Buckworth, J., Dishman, R., O'Connor, P. & Tomporowski, P. 2013. *Exercise Psychology*. 2. painos. Champaign, IL, United States: Human Kinetics.
- Buraimo, B., Frick, B., Hickfang, M. & Simmons, R. 2015. The Economics of Long-term Contracts in the Footballers' Labour Market. *Scottish journal of political economy* 62 (1), 8-24.
- Bush, M., Barnes, C., Archer, D. T., Hogg, B. & Bradley, P. S. 2015. Evolution of match performance parameters for various playing positions in the English Premier League. *Human movement science* 39, 1-11.
- Carling, C., Bloomfield, J., Nelsen, L. & Reilly, T. 2008. The Role of Motion Analysis in Elite Soccer: Contemporary Performance Measurement Techniques and Work Rate Data. *Sports medicine (Auckland)* 38 (10), 839-862.
- Carling, C., Williams, A. M. & Reilly, T. 2005. *Handbook of soccer match analysis: a systematic approach to improving performance*.
- Castellano, J., Alvarez, D. & Bradley, P. S. 2014. Evaluation of Research Using Computerised Tracking Systems (Amisco and Prozone) to Analyse Physical Performance in Elite Soccer: A Systematic Review.
- Cintia, P., Pappalardo, L., Pedreschi, D., Giannotti, F. & Malvaldi, M. Oct 2015. The harsh rule of the goals: Data-driven performance indicators for football teams. *IEEE*, 1-10.
- Clemente, F. M., Owen, A., Serra-Olivares, J., Nikolaidis, P. T., Van Der Linden, Cornelis M I, et al. 2019. Characterization of the Weekly External Load Profile of Professional Soccer Teams From Portugal and the Netherlands. *Walter de Gruyter GmbH*.
- Cockerill, I. M., Nevill, A. M. & Lyons, N. 1991. Modelling mood states in athletic performance. *Journal of sports sciences* 9 (2), 205-212.

- Colby, M. J., Dawson, B., Peeling, P., Heasman, J., Rogalski, B., et al. 2017. Multivariate modeling of subjective and objective monitoring data improve the detection of non-contact injury risk in elite Australian footballers. *Journal of science and medicine in sport* 20 (12), 1068-1074.
- Coleman, B. J., 2012. Identifying the “Players” in Sports Analytics Research. *Interfaces (Providence)* 42 (2), 109-118.
- Coutts, A. J., Crowcroft, S. & Kempton T. 2018. Developing athlete monitoring systems: theoretical basis and practical applications. Teoksessa M. Kellmann & J. Beckmann (toim.) *Sport, Recovery and Performance: Interdisciplinary Insights*. Abingdon, UK: Routledge, 19–32.
- da Mota, G. R., Thiengo, C. R., Gimenes, S. V. & Bradley, P. S. 2016. The effects of ball possession status on physical and technical indicators during the 2014 FIFA World Cup Finals. *Journal of sports sciences* 34 (6), 493-500.
- Dellal, A., Wong, D. P., Moalla, W. & Chamari, K. 2010. Physical and technical activity of soccer players in the French First League - with special reference to their playing position. *International Sportmed Journal* 11 (2), 278-290.
- Di Salvo, V., Baron, R., Tschan, H., Calderon Montero, F. J., Bachl, N., et al. 2007. Performance Characteristics According to Playing Position in Elite Soccer. *International journal of sports medicine* 28 (3), 222-227.
- Duarte, R., Araújo Jo, D., Correia, V. & Davids, K. Sports Teams as Superorganisms Implications of Sociobiological Models of Behaviour for Research and Practice in Team Sports Performance Analysis.
- Duarte, R., Araújo, D., Correia, V. & Davids, K. 2012. Sports Teams as Superorganisms. *Sports Medicine* 42 (8), 633-642.
- Duarte, R., Araújo, D., Correia, V., Davids, K., Marques, P., et al. 2013. Competing together: Assessing the dynamics of team–team and player–team synchrony in professional association football. *Human movement science* 32 (4), 555-566.
- Duarte, R., Araújo, D., Freire, L., Folgado, H., Fernandes, O., et al. 2012. Intra- and inter-group coordination patterns reveal collective behaviors of football players near the scoring zone. *Human movement science* 31 (6), 1639-1651.

- Dvorak, J., Junge, A., Chomiak, J., Graf-Baumann, T., Peterson, L., et al. 2000. Risk factor analysis for injuries in football players. Possibilities for a prevention program. *The American journal of sports medicine* 28 (5 Suppl), S69-S.
- Edwards, A. M. 2006. Thermoregulatory observations in soccer match play: professional and recreational level applications using an intestinal pill system to measure core temperature. *BMJ*.
- Enoka, R. & Duchateau, J. 2016. Translating Fatigue to Human Performance. *Medicine and science in sports and exercise* 48 (11), 2228-2238.
- Fernandez-Navarro, J., Fradua, L., Zubillaga, A., Ford, P. R. & McRobert, A. P. 2016. Attacking and defensive styles of play in soccer: analysis of Spanish and English elite teams. Informa UK Limited.
- FIFA. 2007. FIFA Big Count 2006: 270 million people active in football. Zurich, Switzerland
- Fitzpatrick, J. F., Hicks, K. M. & Hayes, P. R. 2018. Dose–Response Relationship Between Training Load and Changes in Aerobic Fitness in Professional Youth Soccer Players. *Human Kinetics*.
- Folgado, H., Lemmink, Koen A P M, Frencken, W. & Sampaio, J. 2012. Length, width and centroid distance as measures of teams tactical performance in youth football. Informa UK Limited.
- Fonseca, S., Milho, J., Travassos, B. & Araújo, D. 2012. Spatial dynamics of team sports exposed by Voronoi diagrams. *Human movement science* 31 (6), 1652-1659.
- Foster, A., Carl, Florhaug, A., Jessica, Franklin, A., Jodi, Gottschall, A., Lori, Hrovatin, A., Lauri, et al. 2001. A New Approach to Monitoring Exercise Training. *Journal of Strength and Conditioning Research* 15 (1), 109-115.
- Frencken, W., Lemmink, K., Delleman, N. & Visscher, C. 2011. Oscillations of centroid position and surface area of soccer teams in small-sided games. Informa UK Limited.
- Frencken, W., Poel, H. D., Visscher, C. & Lemmink, K. 2012. Variability of inter-team distances associated with match events in elite-standard soccer. Informa UK Limited.
- Gabbett, T. J. 2020. Debunking the myths about training load, injury and performance: empirical evidence, hot topics and recommendations for practitioners.
- Gallo, T. F., Cormack, S. J., Gabbett, T. J. & Lorenzen, C. H. 2015. Pre-training perceived wellness impacts training output in Australian football players. Informa UK Limited.

- Gandevia, S. C. 2001. Spinal and Supraspinal Factors in Human Muscle Fatigue. *Physiological Reviews* 81 (4), 1725-1789.
- Garganta, J. Trends of tactical performance analysis in team sports- bridging the gap between research, training and competition.
- Glazier, P. S. 2017. Towards a Grand Unified Theory of sports performance. *Human movement science* 56 (Pt A), 139-156.
- Gonçalves, B., Marcelino, R., Torres-Ronda, L., Torrents, C. & Sampaio, J. 2016. Effects of emphasising opposition and cooperation on collective movement behaviour during football small-sided games. Informa UK Limited.
- Gonçalves, B. V., Figueira, B. E., Maçãs, V. & Sampaio, J. 2013. Effect of player position on movement behaviour, physical and physiological performances during an 11-a-side football game. Informa UK Limited.
- Gréhaigne, J. & Godbout, P. 2014. *Dynamic Systems Theory and Team Sport Coaching*. Quest (National Association for Kinesiology in Higher Education) 66 (1), 96-116.
- Griffin, A., Kenny, I. C., Comyns, T. M. & Lyons, M. 2020. The Association Between the Acute:Chronic Workload Ratio and Injury and its Application in Team Sports: A Systematic Review. Springer Science and Business Media LLC.
- Hermassi, S., Schwesig, R., Aloui, G., Shephard, R. & Chelly, M. 2019. Effects of Short-Term In-Season Weightlifting Training on the Muscle Strength, Peak Power, Sprint Performance, and Ball-Throwing Velocity of Male Handball Players. *Journal of strength and conditioning research* 33 (12), 3309-3321.
- Hockey, R. 2013. *The psychology of fatigue: Work, Effort and Control*. 1. painos. United Kingdom: Cambridge University Press.
- Hoff, J. 1995. The Effects of Maximum Strength Training on Throwing Velocity and Muscle Strength in Female Team-Handball Players. *Journal of Strength and Conditioning Research* 9 (4), 255-258.
- Hoppe, M. W., Baumgart, C., Slomka, M., Polglaze, T. & Freiwald, J. 2017. Variability of Metabolic Power Data in Elite Soccer Players During Pre-Season Matches. *Journal of human kinetics* 58 (1), 233-245.
- Hughes, M. D. & Bartlett, R. M. 2002a. The use of performance indicators in performance analysis. *Journal of sports sciences* 20 (10), 739-754.



- Hughes, M. D. & Bartlett, R. M. 2002b. The use of performance indicators in performance analysis. *Journal of sports sciences* 20 (10), 739-754.
- Ihsan, M., Tan, F., Sahrom, S., Choo, H. C., Chia, M., et al. 2017. *European Journal of Sport Science* Pre-game perceived wellness highly associates with match running performances during an international field hockey tournament.
- Impellizzeri, F. M., Marcora, S. M. & Coutts, A. J. 2019. Internal and external training load: 15 years on. *International journal of sports physiology and performance* 14 (2), 1-273.
- Impellizzeri, F. M., Rampinini, E., Coutts, A. J., Sassi, A. & Marcora, S. M. 2004. Use of RPE-based training load in soccer. *Medicine and science in sports and exercise* 36 (6), 1042-1047.
- Impellizzeri, F. M., Rampinini, E. & Marcora, S. M. 2005. Physiological assessment of aerobic training in soccer. *Journal of sports sciences* 23 (6), 583-592.
- Ingebrigtsen, J., Dalen, T., Hjelde, G. H., Drust, B. & Wisløff, U. 2014. Acceleration and sprint profiles of a professional elite football team in match play. Informa UK Limited.
- Ispirlidis, I., Fatouros, I., Jamurtas, A., Nikolaidis, M., Michailidis, I., et al. 2008. Time-course of Changes in Inflammatory and Performance Responses Following a Soccer Game. *Clinical journal of sport medicine* 18 (5), 423-431.
- Jahn K. Hakes & Raymond D. Sauer 2006. An Economic Evaluation of the Moneyball Hypothesis. *The Journal of economic perspectives* 20 (3), 173-186.
- Jaspers, A., Brink, M. S., Probst, S. G. M., Frencken, W. G. P. & Helsen, W. F. 2017. Relationships Between Training Load Indicators and Training Outcomes in Professional Soccer. *Sports medicine (Auckland)* 47 (3), 533-544.
- Jaspers, A., Kuyvenhoven, J. P., Staes, F., Frencken, W. G. P., Helsen, W. F., et al. 2018. Examination of the external and internal load indicators' association with overuse injuries in professional soccer players. *Journal of science and medicine in sport* 21 (6), 579-585.
- Kannekens, R., Elferink-Gemser, M. T. & Visscher, C. 2011. Positioning and deciding: key factors for talent development in soccer. *Scandinavian journal of medicine & science in sports* 21 (6), 846-852.
- Kantar Media. 2014. 2014 FIFA World Cup Brazil. London, United Kingdom.
- Kempe, M., Vogelbein, M., Memmert, D. & Nopp, S. 2014. Possession vs. Direct Play: Evaluating Tactical Behavior in Elite Soccer.

- Krustrup, P., Mohr, M., Steensberg, A., Bencke, J., Kjair, M., et al. 2006. Muscle and blood metabolites during a soccer game : Implications for sprint performance. *Medicine and science in sports and exercise* 38 (6), 1165-1174.
- Kyröläinen, H., Avela, J. & Komi, P. V. 2005. Changes in muscle activity with increasing running speed. *Journal of sports sciences* 23 (10), 1101-1109.
- Lago, C. 2009. The influence of match location, quality of opposition, and match status on possession strategies in professional association football. *Journal of sports sciences* 27 (13), 1463-1469.
- Lago, C., Casais, L., Dominguez, E. & Sampaio, J. 2010. The effects of situational variables on distance covered at various speeds in elite soccer. *European journal of sport science* 10 (2), 103-109.
- Lago, C. & Martín, R. 2007. Determinants of possession of the ball in soccer. *Journal of sports sciences* 25 (9), 969-974.
- Lago-Peñas, C. 2012. The Role of Situational Variables in Analysing Physical Performance in Soccer. *Journal of human kinetics* 35 (1), 89-95.
- Lehnhard, A., Robert, Lehnhard, R., Holly, Young, A., Richard & Butterfield, A., Stephen 1996. Monitoring Injuries on a College Soccer Team: The Effect of Strength Training. *Journal of Strength and Conditioning Research* 10 (2), 115-119.
- Link, D. 2018. Data Analytics in Professional Soccer: Performance Analysis Based on Spatiotemporal Tracking Data.
- Los Arcos, A., Méndez-Villanueva, A., Yanci, J. & Martínez-Santos, R. 2016. Respiratory and Muscular Perceived Exertion During Official Games in Professional Soccer Players. *International journal of sports physiology and performance* 11 (3), 301-304.
- Mackenzie, R. & Cushion, C. 2013. Performance analysis in football: A critical review and implications for future research. *Journal of sports sciences* 31 (6), 639-676.
- Malone, S., Owen, A., Mendes, B., Hughes, B., Collins, K., et al. 2017. High-speed running and sprinting as an injury risk factor in soccer: Can well-developed physical qualities reduce the risk? *Journal of science and medicine in sport* 21 (3), 257-262.
- Manzi, V., Impellizzeri, F. & Castagna, C. 2014. Aerobic Fitness Ecological Validity in Elite Soccer Players: A Metabolic Power Approach. *Journal of strength and conditioning research* 28 (4), 914-919.

- Marcora, S. & Staiano, W. 2010. The limit to exercise tolerance in humans: mind over muscle? *European journal of applied physiology* 109 (4), 763-770.
- Meijman, T. F. & Mulder, G. 1998. Psychological aspects of workload. Teoksessa J. D. Drenth, H. Thierry & C. J. de Wolff (toim.) *Handbook of Work and Organizational Psychology*. 2. painos. Hove, United Kingdom: Psychology Press, 5-33.
- Memmert, D., Raabe, D., Schwab, S. & Rein, R. 2019. A tactical comparison of the 4-2-3-1 and 3-5-2 formation in soccer: A theory-oriented, experimental approach based on positional data in an 11 vs. 11 game set-up. *PloS one* 14 (1), e0210191.
- Miller, T. W. 2015. *Sports analytics and data science: winning the game with methods and models*. 1. painos. United Kindom: Pearson.
- Millet, G. Y. & Lepers, R. 2004. *Alterations of Neuromuscular Function After Prolonged Running, Cycling and Skiing Exercises*. Cham: Adis International.
- Mohr, M., Krstrup, P. & Bangsbo, J. 2003. Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *Journal of sports sciences* 21 (7), 519-528.
- Mohr, M., Krstrup, P. & Bangsbo, J. 2005. Fatigue in soccer: A brief review. *Journal of sports sciences* 23 (6), 593-599.
- Mohr, M., Krstrup, P., Nybo, L., Nielsen, J. J. & Bangsbo, J. 2004. Muscle temperature and sprint performance during soccer matches -beneficial effect of re-warm-up at half-time. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 14 (3), 156-162.
- Moura, F. A., Martins, L. E. B., Anido, R. D. O., De Barros, Ricardo Machado Leite & Cunha, S. A. 2012. Quantitative analysis of Brazilian football players' organisation on the pitch. *Sports biomechanics* 11 (1), 85-96.
- Moura, F. A., Martins, L. E. B., Anido, R. O., Ruffino, P. R. C., Barros, R. M. L., et al. 2013. A spectral analysis of team dynamics and tactics in Brazilian football. *Journal of sports sciences* 31 (14), 1568-1577.
- Mujika, I. & Padilla, S. 2003. Scientific Bases for Precompetition Tapering Strategies. *Medicine and science in sports and exercise* 35 (7), 1182-1187.
- Nakanishi, R., Murakami, K. & Naruse, T. Dynamic Positioning Method Based on Dominant Region Diagram to Realize Successful Cooperative Play. In *RoboCup 2007: Robot Soccer World Cup XI*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 488-495.

- Nikolaidis, P. T., Clemente, F. M., van der Linden, Cornelis M I, Rosemann, T. & Knechtle, B. 2018. Validity and reliability of 10-Hz global positioning system to assess in-line movement and change of direction. 9.
- Noakes, T. D. 2012. Fatigue is a brain-derived emotion that regulates the exercise behavior to ensure the protection of whole body homeostasis. *Frontiers in Physiology* 3, 82.
- Olthof, S. B. H., Frencken, W. G. P. & Lemmink, K. A. P. M. 2015. The older, the wider: On-field tactical behavior of elite-standard youth soccer players in small-sided games. *Human movement science* 41 (June), 92-102.
- Osgnach, C., Poser, S., Bernardini, R., Rinaldo, R. & di Prampero, E. P. 2010. Energy Cost and Metabolic Power in Elite Soccer: A New Match Analysis Approach. *Medicine and science in sports and exercise* 42 (1), 170-178.
- Oudejans, R. R. & Nieuwenhuys, A. 2009. Perceiving and moving in sports and other high-pressure contexts. *Progress in Brain Research*, 174, 35-48.
- Passos, P., Davids, K., Araújo, D., Paz, N., Minguéns, J., et al. 2010. Networks as a novel tool for studying team ball sports as complex social systems. *Journal of science and medicine in sport* 14 (2), 170-176.
- Pettersen, S. A., Johansen, H. D., Baptista, I. A. M., Halvorsen, P. & Johansen, D. D. 2018. Quantified Soccer Using Positional Data: A Case Study. *Frontiers in Physiology* 9.
- Pijpers, J. R., Oudejans, R. R. D. & Bakker, F. C. 2007. Changes in the perception of action possibilities while climbing to fatigue on a climbing wall. *Journal of sports sciences* 25 (1), 97-110.
- Pincus, S. M. & Goldberger, A. L. 1994. Physiological time-series analysis: what does regularity quantify? *American journal of physiology. Heart and circulatory physiology* 266 (4), H1643-H1656.
- Rago, V., Krstrup, P., Martín-Acero, R., Rebelo, A. & Mohr, M. 2019. Training load and sub-maximal heart rate testing throughout a competitive period in a top-level male football team. Informa UK Limited.
- Rampinini, E., Bishop, D., Marcora, S. M., Ferrari Bravo, D., Sassi, R., et al. 2007. Validity of Simple Field Tests as Indicators of Match-Related Physical Performance in Top-Level Professional Soccer Players. *International journal of sports medicine* 28 (3), 228-235.

- Rampinini, E., Coutts, A. J., Castagna, C., Sassi, R. & Impellizzeri, F. M. 2007. Variation in Top Level Soccer Match Performance. *International journal of sports medicine* 28 (12), 1018-1024.
- Rampinini, E., Impellizzeri, F. M., Castagna, C., Azzalin, A. & Bravo, F. D. 2008. Effect of Match-Related Fatigue on Short-Passing Ability in Young Soccer Players. *Medicine and science in sports and exercise* 40 (5), 934-942.
- Rampinini, E., Impellizzeri, F. M., Castagna, C., Coutts, A. J. & Wisløff, U. 2009. Technical performance during soccer matches of the Italian Serie A league: Effect of fatigue and competitive level. *Journal of science and medicine in sport* 12 (1), 227-233.
- Rein, R. & Memmert, D. 2016. Big data and tactical analysis in elite soccer: future challenges and opportunities for sports science. *SpringerPlus* 5 (1), 1-13.
- Reilly, T. & Williams, A. M. Introduction to science and soccer. Teoksessa T. Reilly & A. M. Williams (toim.). *Science and Soccer*. London: Routledge, 2003: 1–6.
- Research and Markets. 2016. *Worldwide Sports Analytics Market 2016-2022*.
- Ribeiro, J., Silva, P., Duarte, R., Davids, K. & Garganta, J. 2017. *Team Sports Performance Analysed Through the Lens of Social Network Theory: Implications for Research and Practice*. Springer Science and Business Media LLC.
- Runkler, T. A. 2016. *Data analytics: models and algorithms for intelligent data analysis*. 1. Switzerland: Springer Nature.
- Russell, M., Sparkes, W., Northeast, J., Cook, C., Love, T., et al. 2016. Changes in Acceleration and Deceleration Capacity Throughout Professional Soccer Match-Play. *Journal of strength and conditioning research* 30 (10), 2839-2844.
- Sæterbakken, A., Haug, V., Fransson, D., Grendstad, H. N., Gundersen, H. S., et al. 2019. Match Running Performance on Three Different Competitive Standards in Norwegian Soccer. *Sports medicine international open* 3 (3), E82-E88.
- Sampaio, J. & Maçãs, V. 2012. Measuring Tactical Behaviour in Football. *International Journal of Sports Medicine* 33 (5), 395.
- Sarmiento, H., Marcelino, R., Anguera, M. T., Campaniço, J., Matos, N., et al. 2014. Match analysis in football: a systematic review. *Journal of sports sciences* 32 (20), 1831-1843.
- Scott, B. R., Duthie, G. M., Thornton, H. R. & Dascombe, B. J. 2016. *Training Monitoring for Resistance Exercise: Theory and Applications*. Springer Science and Business Media LLC.

- Silva, P., Travassos, B., Vilar, L., Aguiar, P., Davids, K., et al. 2014. Numerical relations and skill level constrain co-adaptive behaviours of agents in sports teams. *PloS one* 9 (9).
- Simmons, R. 2007. Overpaid athletes? Comparing american and european football. *Working USA* 10 (4), 457-471.
- Smith, D. J. 2003. A Framework for Understanding the Training Process Leading to Elite Performance. *Sports Medicine* 33 (15), 1103-1126.
- Stølen, T., Chamari, K., Castagna, C. & Wisløff, U. 2005. Physiology of Soccer - An Update. *Sports Medicine* 35 (6), 501-536.
- Tenga, A., Holme, I., Ronglan, L. T. & Bahr, R. 2010. Effect of playing tactics on achieving score-box possessions in a random series of team possessions from Norwegian professional soccer matches. *Journal of sport sciences* 28 (3), 245-255.
- Thorlund, J. B., Aagaard, P. & Madsen, K. 2009. Rapid Muscle Force Capacity Changes after Soccer Match Play. *International journal of sports medicine* 30 (4), 273-278.
- UEFA. (2020). UEFA Financial Report 2019/2020. Geneve, Switzerland.
- Varley, M. & Aughey, R. 2013a. Acceleration Profiles in Elite Australian Soccer. Georg Thieme Verlag KG. *International journal of sports medicine* 34 (1), 34
- Varley, M. C., Jaspers, A., Helsen, W. F. & Malone, J. J. 2017. Methodological considerations when quantifying high-intensity efforts in team sport using global positioning system technology. *International journal of sports physiology and performance* 12 (8), 1059-1068.
- Vellers, H., Kleeberger, S. & Lightfoot, J. 2018. Inter-individual variation in adaptations to endurance and resistance exercise training: genetic approaches towards understanding a complex phenotype. *Mammalian genome* 29 (1), 48-62.
- Wallace, J. L. & Norton, K. I. 2013. Evolution of World Cup soccer final games 1966–2010: Game structure, speed and play patterns. *Journal of science and medicine in sport* 17 (2), 223-228.
- Wallace, L., Wallace, L., Slattery, K., Slattery, K., Coutts, A., et al. 2014. A comparison of methods for quantifying training load: relationships between modelled and actual training responses. *European journal of applied physiology* 114 (1), 11-20.
- Wang, Q., Zhu, H., Hu, W., Shen, Z. & Yao, Y. Aug 10, 2015. Discerning Tactical Patterns for Professional Soccer Teams. *ACM*, 2197-2206.
- Wright, C., Atkins, S., Jones Bryan, Todd & Jason 2013. The role of performance analysts within the coaching process: Performance Analysts Survey 'The role of performance analysts in

elite football club settings'. *International journal of performance analysis in sport* 13 (1), 240-261.